

神戸における地震危険度評価

石川 裕
(技術研究所)
奥村 俊彦
(技術研究所)

§1. はじめに

兵庫県南部地震でかくも大きな被害をもたらした主たる要因の一つに「想定を上回る強さの地震動が来襲した」ことが挙げられている。このことは耐震問題の基本事項である地震外力の想定そのものを今一度見直す必要があることを指摘している。本報告では地震危険度評価の考え方を再整理した上で、神戸を対象とした確率論的地震危険度解析ならびに確率論的想定地震の算定を行なった。特にここでは活断層を考慮した場合の評価や問題点についても検討を加えている。それらの結果に基づき、兵庫県南部地震の際に記録された最大加速度の再現期間について評価するとともに、神戸における想定地震から見た兵庫県南部地震の考察を行なった。

§2. 活断層を考慮した地震危険度評価の考え方

2.1 地震危険度評価の手順

図-1に活断層を考慮した地震危険度評価のフローを示す。地震危険度評価は基本的には①過去の地震、②周辺の活断層、③モデル化された特定の地震に基づき確率的に想定地震を設定する流れと、確率論的地震危険度解析を行なう流れに分けられる。後者の手法として、④過去の地震発生データに基づく解析と⑤活断層データに基づく解析がある。そして、想定地震と確率論的地震危険度解析を結びつける概念として、著者らが提案している⑥確率論的想定地震の考え方が利用できる。

このうち①については、過去に発生した地震のうちサイトに大きな地震動をもたらしたと推定されるものの再来を考えるものであり、想定地震としては最も一般的なものである。

②はサイト周辺の活断層を調査し、その断層の活

動による地震を想定するものである。地震の規模や位置を評価するための活断層のデータベースとしては活断層研究会がまとめた「日本の活断層」²⁾や、松田がそれを基に1回の地震で活動する断層を整理し直した「起震断層」³⁾がある。しかし、一般に個々の活断層はA級活断層でも平均活動間隔は数百~1,000年のオーダーであり、周辺に活断層が分布しているからと言ってやみくもにそれを危険と決めつけるのは工学的に妥当な判断とは言えない。したがって、近い将来に活動しそうな活断層を選定する判断がここでの最大の問題となる。トレンチ調査などに基づき個々の活断層の危険度が定量的に把握できれば理想的であるが、こうした活断層は数少ないのが実情である。こうした中で、松田は活断層がある程度近い将来に活動するかもしれない目安として、活断層の平均活動間隔と活動履歴や断層活動の時空的な続発性に基づき「要注意活断層」を指摘しており^{4) 5)}、例えばこうした考えが警戒すべき活断層選定の参考となる。ただし、活断層の諸元にはきわめて大きな不確定性があり、「要注意」といっても対象となる期間がきわめて長期間に及ぶことは認識しておく必要がある。

③モデル化された特定の地震とは過去の地震活動様式の分析や地震地体構造などの地震学的知見に基づいて、そのような地震は必ずしも過去には発生していないものの、近い将来発生が懸念されている地震を意味する。駿河湾を震源とする東海地震などがこれに当たる。

確率論的地震危険度解析は従来、④過去の地震発生データに基づくものが一般的であった。昨今活断層データが整備されたのに伴い、⑤活断層データに基づく地震危険度解析も研究されている(例えば文献6)7))が、後述するような問題点が検討課題として残されている。

以上に示したような考え方により想定地震は設定

されるが、そこには多くの不確実性が含まれる。特に、想定地震の発生頻度に関してはあいまいな場合が多く、こうした点で想定地震とサイトの地震危険度との関係は明瞭にされていなかった。このような背景から、著者らは想定地震と確率論的地震危険度解析を統一的な枠組みで議論するため、⑥確率論的想定地震の概念を提案している¹⁾。この考え方をを用いることにより発生確率などのリスク指標に適合した想定地震が評価できると同時に、対象とする周期帯域に応じた想定地震の変化も定量的に捉えることが可能となる。

本報告で論じる地震危険度評価の主眼は地震発生の問題の取り扱いにある。したがって、地震像が決定された場合にサイトで生じるであろう地震動評価の問題に関してはここでは詳しくは触れない(文献8)などを参照されたい)。しかし、今回の兵庫県南部地震でも強調されたように、断層からの距離がほとんど同じであってもサイトの地盤特性によって来襲する地震動の特性は大きく異なり、それに伴い被害の様相も大きく変化することになる。よって図-1では簡単にしか示していないが、本報告で論じる地震危険度評価の次のステップとして、サイトにおける詳細な地震動評価が重要な課題となることは言うまでもない。

2.2 評価結果の解釈

図-1に示した方法により地震危険度評価を行なうと、地震動強さと発生確率の関係(もしくは地震動強さの確率論的期待値)や複数の想定地震による地震動が評価される。したがって、構造物の耐震設計や耐震補強などに用いる地震動あるいは地震荷重

を設定するには、まずこうした方法を用いることによって、当該地域における地震動強さと発生確率の関係や発生の可能性がある種々の想定地震による地震動強さを明らかにしておくことが重要である。それを踏まえた次のステップとして、当該敷地の詳細な地盤振動特性、対象となる構造物の構造特性(ねばり強さなど)、安全性照査の方法、構造物の重要度、経済性などを総合的に勘案した判断が行なわれ、最終的に地震動や地震荷重が設定されることになる。今後は構造物や施設の重要度の概念が明確にされ、それに応じて異なる強さの地震動をきめ細かく評価することが要求されるようになると思われる。

§3. 活断層を考慮した地震危険度解析と確率論的想定地震

図-1に示したフローにおける各手法の多くはすでに確立されたものであるが、その中で、⑤活断層データに基づく地震危険度解析ならびに⑥活断層を考慮した確率論的想定地震については手法や条件の整理が必要である。そこで、以下では本報告におけるそれらの取り扱い方法について説明する。

3.1 活断層を考慮した地震危険度解析の方法

活断層を考慮した地震危険度解析については既にいくつかの研究例(例えば文献6)7)が報告されているが、次のような問題点が検討課題として残されている。i)活断層のモデル化(グループ化とセグメント化)、ii)活断層の諸元および諸関係式に含まれる不確実性の評価、iii)活断層データと地震発生データの解釈と組み合わせ。

兵庫県南部地震を見ても明らかのように、1回の地震で活動する断層は「日本の活断層」²⁾に記載されている1本の活断層とは限らず、複数の断層が同時に活動する場合がある。また、非常に長い断層では1回の地震でその全体が動くとは限らない。こうした点を考慮して活断層をモデル化する作業がi)の問題である。工学の問題としては処理しづらく、専門家の意見に頼らざるを得ないが、本報告では、このような問題点を踏まえて活断層データを整理し直した松田による「起震断層」³⁾を地震危険度解析における活断層モデルとして用いる。ただし、地域によっては「起震断層」に記載されている以外にも警戒すべき活断層が指摘されている場合もあるであろう

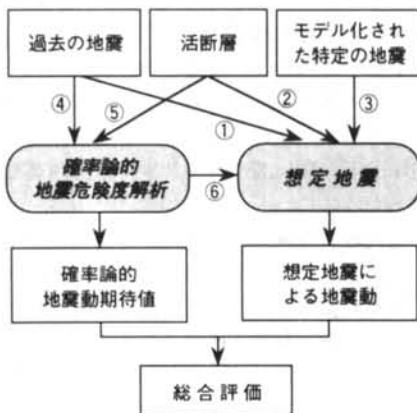


図-1 地震危険度評価のフロー

から、こうした場合にはその活断層についてもモデル化すべきであろう。

ii)については、例えば断層の平均変位速度の値が1オーダー変われば、その活断層での地震発生率も1オーダー変化するといったように、場合によっては結果に大きく影響する重要な問題である。感度解析などの不確定性評価を行なって影響の大きい要因を把握していく必要がある（一部は文献9）などで検討されている）が、本報告ではこの問題については扱わない。

iii)に関して、亀田・奥村⁶⁾は一つの解決策として、地域ごとに個別のデータに基づき算定された地震発生率のうち大きい方を採用することを提案している。この考え方は地震発生データならびに活断層データのもつ欠点を補う意味で有用であるが、最終的に地域によってはいずれかのデータに基づく情報が消えてしまうことになる。そこで、本報告では両データを独立なものとし、両データに基づく結果を足し合わせた解析を行なってみる。もちろん、地震発生データの中で特定の活断層の活動であることが明らかなものについては、いずれかのデータよりその地震の分を除いておく必要がある。後述する神戸の例では、結果に大きな影響を及ぼすデータの中でこの条件に該当するものはない。

本報告では、1回の地震により個々の活断層モデルの全長が破壊すると仮定し、その際の地震のマグニチュード（固有規模）は断層の長さに応じて松田式¹⁰⁾により求める（固有地震モデル）。地震発生頻度（平均活動間隔の逆数）は平均変位速度と地震時の断層変位量との比により算定する。地震時の断層変位量は地震マグニチュードとの関係式¹⁰⁾により評価する。また、個々の活断層の活動による地震発生時系列は本来、前回の活動からの時間依存性を考慮してモデル化すべきであるが、前回の活動歴が明らかになっている活断層はきわめて少ないため、本報告では、活断層の活動による地震もすべて経時的にポアソン過程に従うと仮定する。これにより活断層における地震発生がモデル化されるので、これと地震動のアテニュエーション式を組み合わせることによりサイトでの地震危険度が評価できる。

3.2 確率論的想定地震

次に、活断層を考慮した場合の確率論的想定地震¹⁾について述べる。確率論的想定地震とはサイト地震動について与えられたリスクレベル（発生確率や

再現期間などを定めた条件）のもとで、発生の条件付確率（これを「貢献度」と呼ぶ）が大きい地震域に対して設定された想定地震であり、その地震諸元としてはマグニチュード・震央距離・震央方位の条件付期待値であるハザード適合マグニチュード・震央距離・震央方位¹¹⁾を用いる。この考え方をいれば、考慮するリスクレベルに適合した形で貢献度が大きい想定地震を抽出できることはもとより、対象としている地震動の周期帯域に応じて変化する想定地震を合理的かつ定量的に評価することができる。

本報告では活断層を考慮するため、個々の活断層モデルについても地震域の一つとして考える。以下では、地震発生データと活断層データを個別に用いた場合に加えて、両データを足し合わせた地震危険度解析ならびに確率論的想定地震について検討を行なう。なお、両データを足し合わせた確率論的想定地震の結果（貢献度）には、地震発生データに基づく解析で用いる地震域モデルの大きさが影響してくるため、その設定方法ならびに活断層モデルとの整合方法については今後の検討が必要である。

§4. 神戸における地震危険度評価

4.1 神戸周辺で過去に発生した地震と周辺の活断層

表-1 に神戸周辺で過去に発生した地震のうち、福島・田中式¹²⁾により推定される最大加速度が大きい

| | 発生 年月日 | M | Δ (km) | A _{max} (Gal) | 地震名・震央地域 |
|----|------------|-----|-----------|---------------------------|----------|
| | 1995. 1.17 | 7.2 | 15 | 317 (632) | 兵庫県南部地震 |
| 1 | 1596. 9. 5 | 7.5 | 38 | 229 | 慶長伏見地震 |
| 2 | 868. 8. 3 | 7.0 | 37 | 174 | 播磨/山城 |
| 3 | 1916.11.26 | 6.1 | 19 | 156 | 神戸 |
| 4 | 1510. 9.21 | 6.8 | 39 | 144 | 摂津/河内 |
| 5 | 1185. 8.13 | 7.4 | 67 | 131 | 近江/山城/大和 |
| 参考 | 1854.12.24 | 8.4 | 187 | 55 | 安政南海地震 |

・ M: マグニチュード, Δ: 震央距離, A_{max}: 福島・田中式による最大加速度（距離は震源距離で評価し、深さが不明な場合は余震体積半径の半分を深さと仮定）。兵庫県南部地震の(632)は距離を断層との最短距離とした場合の福島・田中式による最大加速度

表-1 神戸周辺で過去に発生した主な地震の諸元

い地震の諸元を示す。推定最大加速度を算定する場合の距離のとり方や震源深さの評価には表中に示したような仮定を設けているため、例えば今回の兵庫県南部地震での推定最大加速度も実際に観測された値よりかなり小さな値となっている。この表を見るかぎり、有史以来記録されている地震の範囲内では、今回の兵庫県南部地震は神戸に最も大きな地震動をもたらした地震であると考えられる。また、これらの地震のうち今世紀に発生したのは1916.11.26の神戸での地震 (M 6.1) のみであり、近年神戸周辺では問題となるような地震がほとんど発生していなかったことがこの表からも窺える。

理科年表に基づき、神戸における最近50年間(1944~1993年)での有感地震の回数を整理したものを表-2に示す。比較のために、大阪、東京、釧路における回数についても併記している(1994年北海道東方沖地震の際のデータは含まれていないため釧路の震度6は1回となっている)。同表より明らかなように、神戸や大阪における有感地震の回数は東京や釧路におけるその1/7~1/9である。東京周辺における地震活動も関東大地震以降、比較的静穏な時期が続いていると言われているが、その東京と比較しても神戸における有感地震の回数はきわめて少ない。ちなみに今回の地震の前に震度4を経験したのは43年前の吉野地震(1952.7.18: M 6.8)である。理科年表に記載されている年代範囲(1916年以降)において、神戸では震度5以上の記録はなかった。

図-2に「日本の活断層」²⁾に記載されている神戸周辺の活断層を示す。これらの活断層が個々に独立に地震を発生させるとは考えにくいので、以下では「起震断層」³⁾に基づき議論する。図-3には「起震断層」に基づく神戸周辺の活断層の分布を、また表-3にはこのうちもし活動すれば神戸に大きな地震動をもたらすであろう断層の諸元を示す。これらの図表は文献3)をベースにしているが、各断層は直線でモデル化しているため、表-3に示した諸元の中には一部文献3)とは値が異なっているものもある。また、活断層の平均活動間隔を算定する際の平均変位速度は断層の活動度に応じて平均的な値を一律に与えているが、六甲断層帯の平均変位速度のみ文献4)に基づいて0.8mm/年と仮定している。図-3より明らかなように、神戸市街地のすぐ北側には、北東から南西方向に走る六甲断層帯が位置している。その北側には有馬・高槻断層帯、西側には高塚山断

| | 震度 | 震度 | 震度 | 震度 | 震度 | 震度 | 合計 |
|----|-------|-----|-----|----|----|----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 神戸 | 176 | 67 | 21 | 5 | 0 | 0 | 269 |
| 大阪 | 243 | 69 | 26 | 6 | 0 | 0 | 344 |
| 東京 | 1,204 | 529 | 193 | 36 | 2 | 0 | 1,964 |
| 釧路 | 1,500 | 627 | 173 | 39 | 6 | 1 | 2,346 |

表-2 神戸における有感地震の回数(1944年~1993年の50年間)



図-2 神戸周辺の主な活断層の分布(「日本の活断層」に基づく)

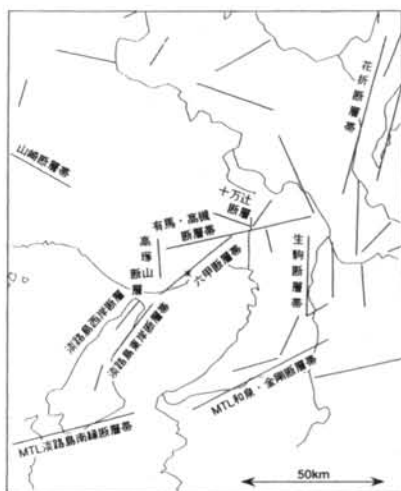


図-3 神戸周辺の主な活断層の分布(「起震断層」に基づく)

| 活断層名 | 活動度 | T_R (年) | L (km) | M | R (km) | A_{max} (Gal) |
|-------------|-----|--------------|-------------|-----|-------------|--------------------|
| 六甲断層帯 | B* | 3,100 | 31 | 7.3 | 0.6 | 633 |
| 有馬・高槻断層帯 | B | 8,200 | 52 | 7.7 | 10 | 498 |
| 淡路島東岸断層帯 | B | 3,500 | 22 | 7.1 | 16 | 342 |
| 淡路島西岸断層 | B | 2,200 | 14 | 6.7 | 19 | 256 |
| MIT和泉・金剛断層帯 | A | 840 | 53 | 7.7 | 42 | 255 |
| MIT淡路島南縁断層帯 | A | 700 | 44 | 7.6 | 52 | 198 |

* 六甲断層帯の平均変位速度は0.8 (mm/年)としている。
 T_R : 平均活動間隔, L : 長さ, M : マグニチュード,
 R : 最短距離, A_{max} : 福島・田中式による最大加速度。

表-3 神戸周辺の主な活断層の諸元(「起震断層」に基づく)

層があり、そして淡路島北部にも東西に活断層が分布している。これらの活断層は神戸との位置関係から見て、万一活動すれば神戸に大きな地震動をもたらす可能性があることは表-3にも示されることである。しかしながら、これらの活断層の平均活動間隔はいずれも1,000年以上と見積られるため、これらの活断層による地震までを想定地震として考慮するには至っていなかったのが実情であろう。

4.2 神戸における確率論的地震危険度解析

次に先に述べた手法を用いて神戸における地震危険度解析を行なう。ここでは対象とする地震動指標は地表における最大加速度とし、そのアテニュエーション式は福島・田中式¹²⁾を用いる。式に含まれるばらつきは対数標準偏差が0.5の対数正規分布でモデル化している。福島・田中式を用いる際の距離の評価は、地震発生データに基づく解析(点震源)では、マグニチュードに応じた拡がり仮定した断層との最短距離を用いている。また、活断層データに基づく解析ではモデル化した活断層との最短距離を直接用いている。

地震発生データに基づく地震危険度解析の方法は標準的なもの¹⁾である。地震域モデルを図-4に示すが、ここでは12分割のモデルの他に南海地震を別個にモデル化している。過去のデータを参考に、南海地震はマグニチュードが8.0~8.4の一様分布、断層との最短距離を130kmと仮定している。ただし、本解析では南海地震も含めてすべての地震とも発生時系列はポアソン過程に従うと仮定している。活断層データに基づく地震危険度解析で用いた活断層モデルの分布および諸元については先に図-3、表-

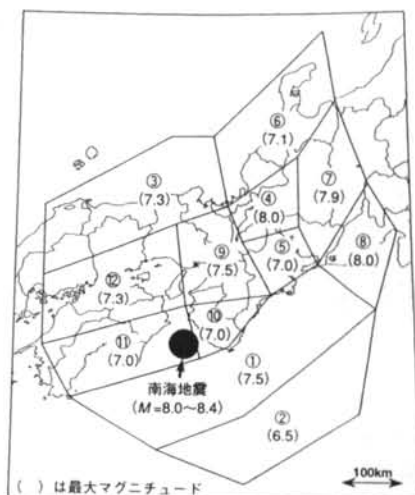


図-4 地震域モデル

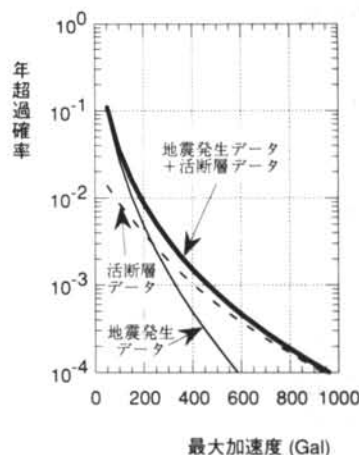


図-5 神戸におけるハザード曲線

3に示したとおりである。

図-5に地震発生データに基づく解析結果(細実線)と活断層データに基づく解析結果(細点線)を比較して示す。この図は最大加速度とその年超過確率の関係を示したもので、通常ハザード曲線と呼ばれる。図-5によれば、最大加速度が200Gal以下の範囲では地震発生データに基づく結果の方がやや大きめの年超過確率を与えるが、それ以上の加速度レベルでは活断層データに基づく年超過確率の方が大きくなる。これはもし活動すれば大きな加速度をもたらす反面、地震の年当たり発生頻度は 10^{-2} ~ 10^{-3} 以下というようにきわめて低い活断層の特性が反映された結果である。

図-5中、太い実線で示した結果が両データによる解析結果を足し合わせたものである。地震発生データと活断層データを足し合わせた解析結果を用いても、神戸における最大加速度の100年再現期待値はおおよそ190Galである。また、1,000年再現期待値はおおよそ460Galである。この結果による限り、兵庫県南部地震の際に神戸で記録された600~800Galという最大加速度は年超過確率で見ると 10^{-3} 以下、すなわち再現期間では1,000年以上ということになる。

図-6は今回活動した六甲断層帯と淡路島西岸断層(野島断層)を除いた活断層モデルを用いた場合のハザード曲線を示したものである。なお、この図は活断層データのみに基づく解析結果である。これは今回の兵庫県南部地震の発生を見た現時点での地震危険度解析結果とも考えられるが、神戸周辺にはこれら2本の活断層以外にも多数の活断層が分布しているため、年超過確率が0.01程度では2つの活断層を除いた影響はハザード曲線にはほとんど現れない。しかし、年超過確率がそれ以下の範囲ではその違いが顕著となって現れてくる。

4.3 確率論的想定地震

次に神戸における確率論的想定地震について、ここでは年超過確率が0.01(再現期間100年)および0.001(再現期間1,000年)の場合の結果を示す。なお、以下に示す表では貢献度が5%以上の地震域あるいは活断層を抽出している。

表-4は地震発生データのみに基づく解析結果である。本解析では最大加速度を対象としているため、相対的に近距離の地震の貢献度が大きくなるが、表-4の結果ではこうしたこともあって、いずれの年超過確率の場合とも近距離地震(地震域No.9)の貢献度が圧倒的に大きくなっている。同表によれば、年超過確率が0.01の場合の近距離地震のマグニチュードは6.4となっている。この値は最大加速度が153Galを上回る条件下での条件付期待値であり、これに標準偏差を上乗せた値は7.0となる。すなわち、過去の地震発生データを分析する限りにおいて、今回の兵庫県南部地震の規模(M7.2)は再現期間100年の場合のこの地域の近距離地震の平均像を上回るものであったと評価できよう。

表-5は活断層データのみに基づく結果である。このうち、年超過確率が0.01の場合には周辺の多くの活断層が貢献してくるため突出した貢献度をもつ

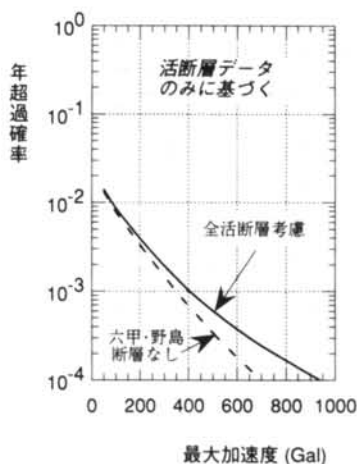


図-6 六甲断層帯・淡路島西岸断層(野島断層)を除いた活断層モデルに基づくハザード曲線

| 地震域 | 年超過確率 p_0 0.01 | | | 年超過確率 p_0 0.001 | | |
|-----------------|----------------------|-----------|----------------|------------------------|-----------|----------------|
| | 100年期待値 153 (Gal) | | | 1,000年期待値 329 (Gal) | | |
| | 貢献度 | \bar{M} | $\bar{\Delta}$ | 貢献度 | \bar{M} | $\bar{\Delta}$ |
| 近距離地震 (No.9) | 71% | 6.4 | 30km | 87% | 6.8 | 27km |
| 南海地震 | 14% | 8.2 | 130km | 6% | 8.3 | 130km |
| No.12 | 5% | 6.5 | 49km | <5% | - | - |

(注) 直下地震のマグニチュード

・ $p_0=0.01$: $E(M)=6.4$, $E(M)+\sigma(M)=7.0$

・ $p_0=0.001$: $E(M)=6.8$, $E(M)+\sigma(M)=7.3$

表-4 地震発生データに基づく確率論的想定地震

活断層は見当たらないが、この中では中央構造線(MTL)の2本の活断層の貢献度が大きい。これはこれらの活断層がA級活断層であるがゆえに地震発生頻度が高く評価されるためである。一方、年超過確率が0.001になると、神戸近傍に位置する活断層の貢献度が相対的に大きくなり、なかでも六甲断層帯の貢献度が26%と最も大きくなる。すなわち、六甲断層帯はもし活動すれば神戸に大きな最大加速度をもたらす反面、平均活動間隔は約3,100年と長い。再現期間100年の場合には貢献度は相対的に大きくなり、1,000年程度の長い再現期間を考慮した場合にはじめて貢献度が大きい活断層として評価されることになる。

表-6は両データを足し合わせた場合の結果であ

| 活断層 | 年超過確率 p_0 0.01 | | | 年超過確率 p_0 0.001 | | |
|-----------------|---------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| | 100年期待値 83 (Gal) | | | 1,000年期待値 407 (Gal) | | |
| | 貢献度 | \bar{M} | \bar{R} | 貢献度 | \bar{M} | \bar{R} |
| 六甲断層帯 | <5% | — | — | 26% | 7.3 | 0.6km |
| MTL和泉・ 金剛断層帯 | 12% | 7.7 | 42km | 21% | 7.7 | 42km |
| MTL淡路島 南縁断層帯 | 14% | 7.6 | 52km | 11% | 7.6 | 52km |
| 淡路島東岸 断層帯 | <5% | — | — | 10% | 7.1 | 16km |
| 淡路島西岸 断層 | 5% | 6.7 | 19km | 8% | 6.7 | 19km |
| 有馬・高槻 断層帯 | <5% | — | — | 8% | 7.7 | 10km |
| 仏念寺山 断層 | 7% | 6.2 | 30km | <5% | — | — |
| 五月山断層 | 5% | 6.6 | 27km | <5% | — | — |

表-5 活断層データに基づく確率論的想定地震

る。いずれの年超過確率の場合とも、各地震域（活断層）の貢献度は個々のデータに基づく結果を折衷した形となっている。ただし、上述したように、両データを足し合わせた場合の貢献度には地震発生データに基づく解析で用いる地震域モデルの大きさが影響してくるため、その設定方法ならびに活断層モデルとの整合方法について今一度吟味が必要である。

§5. 神戸における想定地震から見た兵庫県南部地震の考察

最後に以上の解析結果を踏まえた上で神戸における想定地震を整理し、それと今回の兵庫県南部地震の関係について考察してみる。表-7は図-1に示したフローに基づいて評価される神戸の想定地震を整理したものである。

まず、表-1に示したように、兵庫県南部地震は有史以来神戸に最も大きな地震動をもたらした地震であると評価されるため、過去の地震の再来を考えるのみでは今回の兵庫県南部地震は想定し得なかったと言うことができよう。文献1)によれば、神戸市

| 地震域 (活断層) | 年超過確率 p_0 0.01 | | | 年超過確率 p_0 0.001 | | |
|-----------------|----------------------|-----------|--------------------|------------------------|-----------|--------------------|
| | 100年期待値 189 (Gal) | | | 1,000年期待値 464 (Gal) | | |
| | 貢献度 | \bar{M} | $\bar{\Delta}$ (R) | 貢献度 | \bar{M} | $\bar{\Delta}$ (R) |
| 近距離地震 (No.9) | 43% | 6.5 | 29km | 25% | 6.9 | 25km |
| 南海地震 | 7% | 8.2 | 130km | <5% | — | — |
| 六甲断層帯 | <5% | — | — | 24% | 7.3 | 0.6km |
| MTL和泉・ 金剛断層帯 | 9% | 7.7 | 42km | 14% | 7.7 | 42km |
| 淡路島東岸 断層帯 | <5% | — | — | 8% | 7.1 | 16km |
| 有馬・高槻 断層帯 | <5% | — | — | 7% | 7.7 | 10km |
| MTL淡路島 南縁断層帯 | 8% | 7.6 | 52km | 6% | 7.6 | 52km |
| 淡路島西岸 断層 | <5% | — | — | 5% | 6.7 | 19km |

表-6 地震発生データと活断層データを足し合わせた場合の確率論的想定地震

- | | |
|---|------|
| ①過去の地震 | → × |
| (1596年慶長伏見地震: $M7.5 \cdot \Delta 38km$) | |
| ②活断層 | → △? |
| (六甲断層帯: $M7.3 \cdot R 0.6km \cdot T_R 3100年$) | |
| ③モデル化された特定の地震 | → × |
| ④地震発生データに基づく 確率論的想定地震 | → × |
| ($p_0=0.01$: 近距離地震 $M6.4 \cdot \Delta 30km$) | |
| ($p_0=0.001$: 同 $M6.8 \cdot \Delta 27km$) | |
| ⑤活断層データに基づく 確率論的想定地震 | → △? |
| ($p_0=0.01$: MTL淡路島南縁 $M7.6 \cdot R 52km$) | |
| ($p_0=0.001$: 六甲断層帯 $M7.3 \cdot R 0.6km$) | |

表-7 神戸における想定地震から見た兵庫県南部地震の考察

や兵庫県における地震被害想定で用いていた想定地震は原則として過去の地震の再来を考慮したものであった。

活断層に関しては、繰り返し述べているように神戸周辺には六甲断層帯をはじめとして、万一活動すれば比較的大きな地震動をもたらすであろう活断層は複数本分布していた。しかしいずれの活断層も活

動間隔は数百年から1,000年以上であり、こうした活断層の活動による地震までを想定するのは現実的には難しかったのではないと思われる。しかし、そうした中で松田が文献4)において有馬・高槻・六甲断層帯を「要注意活断層」の一つとして指摘していたのは注目すべきであろう。ただし、一般に活断層の平均活動間隔の精度はせいぜい100年オーダー程度であろうことから、「要注意」といってもその対象となる期間は工学で扱う期間と比べてきわめて長い。それゆえ、活断層が有するこのような大きな不確定性を工学の問題でどのように扱うべきなのか真剣な議論が今後必要である。

次に確率論的想定地震の結果から神戸における想定地震を考察してみる。まず、過去の地震発生データに基づく結果では年超過確率が0.01, 0.001のいずれの場合とも近距離地震の貢献度が際だって大きくなるが、期待値を用いる限り兵庫県南部地震よりマグニチュードは小さめの評価となり、震央距離は大きめの評価となる。一方、活断層データに基づく確率論的想定地震は年超過確率が0.01の場合には貢献度が最も大きくなるのは中央構造線の2本の活断層であり、100年程度の再現期間を対象としたのでは発生頻度が低い六甲断層帯はクローズアップされてこない。これに対し、再現期間1,000年程度(年超過確率0.001)を見込んだ場合にはじめて六甲断層帯の貢献度が最も大きく評価される結果となっている。

このように、あくまで本報告で行なった評価結果に拠るものであるが、少なくとも歴史上の地震発生データのみからは今回の兵庫県南部地震を事前に想定することは困難であった見るのが率直な評価である。活断層データを用いて六甲断層帯の活動を想定すればあるいは事前の備えが可能であったのかもしれないが、この断層帯の次の活動時期に関する定量的な情報が明らかにされていなかった状況下では、活動間隔が1,000年以上というような、言い換えればいつ起こるかかわからない低頻度の地震までを想定

することは不可能であったのが現実であろう。

§6. おわりに

兵庫県南部地震の発生を見た今、今一度地震危険度評価の問題を見直してみる必要性が指摘できる。特に本報告で考察したように、今回の地震は歴史上記録されている地震発生データのみからでは事前の想定は難しかったと思われる。このことは今後の地震危険度評価において、活断層データなど有史以上の長期間の地震活動を反映した情報を何らかの形で取り入れていく必要があることを示唆するものである。こうした観点から、本報告では活断層データを考慮した地震危険度解析ならびに確率論的想定地震についても検討を加えた。ここで示した方法や結果は一つの試案であり、今後種々の条件の再吟味が必要なことは十分認識している。特に、活断層データには地震源としてのモデル化や発生頻度の評価などに大きな不確定性が含まれることから、こうした点を工学の問題にいかに取り込んでいくかについても含めて、今後総合的に検討を加えていきたい。また、文中でも述べたように、地震動や地震荷重はここで示したような地震危険度評価から機械的に設定されるものではなく、サイト地震動の詳細な評価や、地盤・構造物の応答・損傷評価などから予測される被害やその波及効果に加えて、それらの被害を防止・担保するための経済性なども密接に関わるものである。本報告で論じたような考え方が今後こうした問題の一助となれば幸いである。

本報告のうち、確率論的想定地震の手法の開発に関しては京都大学防災研究所との共同研究として実施しているものである。また、それ以外にも本報告をまとめるにあたっては京都大学防災研究所教授・亀田弘行先生から多くの有用な意見をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 亀田弘行・石川 裕・中島正人：“想定地震の工学的設定法に関する研究” 京都大学防災研究所都市耐震センター研究報告 別冊第14号(1994年)
- 2) 活断層研究会編：“[新編]日本の活断層一分布図と資料” 東京大学出版会(1991年)
- 3) 松田時彦：“最大地震規模による日本列島の地震分帯図” 地震研究所叢報 Vol.65(1990年) pp.289-319

- 4) Matsuda, T. : "Active Faults and Damaging Earthquakes in Japan — Macro seismic Zoning and Precaution Fault Zones" Maurice Ewing Ser. Vol.4 Am. Geophys. Union (1981) pp.271-289
- 5) 松田時彦 : "活断層の活動予測" 地学雑誌 Vol.101 No.6 (1992年) pp.442-452
- 6) 亀田弘行・奥村俊彦 : "活断層データと歴史地震データを組み合わせた地震危険度解析" 土木学会論文集 第362号/I-4 (1985年) pp.407-415
- 7) 島崎邦彦・松田時彦・Wesnousky, S.G.・Scholz, C.H. : "日本の地震危険度マップ (続報)" 地震学会1985春季大会予稿集 P07 (1985年) p.293
- 8) 石井 透・佐藤俊明 : "建設地において考慮する地震像に基づく設計用地震動策定法" 日本建築学会構造系論文集 第462号 (1994年) pp.31-42
- 9) 奥村俊彦・石川 裕・石井 清 : "活断層に基づく地震危険度解析に関する一考察" 土木学会第40回年次学術講演会講演概要集 I-328 (1985年) pp.655-656
- 10) 松田時彦 : "活断層から発生する地震の規模と周期について" 地震 第2輯 第28巻 (1975年) pp.269-283
- 11) 亀田弘行・石川 裕 : "ハザード適合マグニチュード・震央距離による地震危険度解析の拡張" 土木学会論文集 第392号/I-9 (1988年) pp.395-402
- 12) Fukushima, Y. and Tanaka, T. : "A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan" Shimizu Technical Research Bulletin No.10 (1991) pp.1-11

