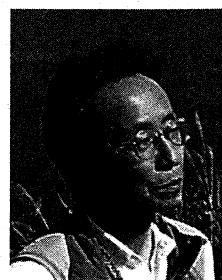


●特集● 南海トラフの巨大地震にどう備えるか—東海からの発信

駿河・南海トラフの巨大地震に備える

駿河・南海トラフ沿いでマグニチュード9クラスの巨大地震が発生する可能性がある。こうした巨大地震が起きれば、関東から西南日本全域で強震動や津波により大きな被害が起きると予想される。一方、高度成長期に作られたインフラストラクチャが耐用年数を迎、劣化が進む時期にさしかかっている。地震までの猶予期間内に、耐震化と劣化を防ぐための努力が必要である。



古本宗充

はじめに

かなり以前から駿河・南海トラフで将来マグニチュードM=8クラスの巨大地震が起きると想定されてきた。しかし2011年東北地方太平洋沖地震(M=9.0)とその震災(東日本大震災)により、自然の力がいかに大きいか、またこうした現象についてわれわれ地震学者の知識が不十分であることを改めて思い知らされた。そして駿河・南海トラフで起きる巨大地震について、M=9クラスの地震も検討する必要が出てきた。

中央防災会議は、最大規模の見直しを行い、これまで想定してきた数値をはるかに上回るものを見直している¹⁾。例えば死者数だけを見ても、30万人を超える膨大な死者数を想定しており、過去の想定(M=8クラスの地震)の10倍以上の災害規模となっている。

中央防災会議の報告ではM=9クラスの巨大地震にともなって引き起こされるさまざまな災害項目を挙げ、それらの規模の想定をし

●古本宗充(ふるもと・むねよし)●

1951年生まれ。名古屋大学大学院理学研究科修了。理学博士。所属:名古屋大学大学院環境学研究科。専門:地震学、地球物理学。著書:『地震と津波』(共著、本の泉社、2012)ほか。

ている。また最近は、予想される災害などについて多くの文献²⁻³⁾があり、ここで再度、同様の観点からの議論を行う意味はあまりないであろう。

本稿では、「老化しつつある国土」における震災という観点から、来るべき震災に対する備えについて考えてみたい。

1 老化しつつある国土

少し唐突な観点をあげたので、その意味について、ごく簡単な説明をしておきたい。

「老化しつつある国土」とは、高度成長期に建設されたインフラストラクチャなどの経年劣化を念頭に置いてもらえば理解してもらえるであろう。さらにいえば、国民の高齢化も将来の震災と無縁ではない。

日本の高度成長期は、地震災害だけでなく自然災害という点から見ても、比較的幸運な期間に恵まれたといえる。死者が1000人を超えるような大きな震災は、1943年鳥取地震(M7.2)、1944年東南海地震(M7.9)、1945年三河地震(M=6.8)、1946年南海地震(M8.0)、そして1948年福井地震(M7.1)と立て続けに起きた後、1995年兵庫県南部地震(M7.2)までほぼ50年間起きなかった。他の自然災害を入れても、1959年の伊勢湾

キーワード: 液状化 (liquefaction), 山崩れ (landslide), 津波 (tsunami), 地震災害 (earthquake disaster)

台風が入る程度である。

この期間に、日本は高度成長期を迎える。都市に人口が集中し、市街地が拡大し、そして多くの高層建築物やインフラストラクチャが建設された。これらは基本的に大きな地震の試練を受けずに現在に至っている。現時点では、さまざまな物が築後数十年経過して劣化を迎える時期にさしかかりつつある。

次の巨大地震までにしばらく時間があるとしても、このまま放置すれば、今後さらに劣化が進むことになり、地震に対してますます脆弱になる。今後の時間を減災のために、いかに有効に使うかが重要となる。

2 駿河・南海トラフ沿いの巨大地震

まず将来、どのような地震が想定されるかについて、ごく簡単に見ておこう。西南日本の太平洋沖を駿河湾から九州南方沖まで伸びる駿河・南海トラフ沿いでは、100～200年程度の間隔で、全領域を覆い尽くすような巨大地震に繰り返し襲われている。

巨大地震は、1個で全領域を覆う場合もあるが、2個程度に分かれる場合もある。この繰り返しの中の一番新しい巨大地震活動である1944年東南海地震と1946年南海地震では、2個の巨大地震となった。1707年に発生した宝永地震(M8.4)は、駿河から四国沖までの一発の巨大地震であり、西南日本全域に大きな被害をもたらした。

従来、地震研究者は、宝永地震型が日本付近で発生する地震の中で最大の地震であると考えてきた。しかし2011年の東北地方太平洋沖地震の発生により、駿河・南海トラフでもM=9クラスの地震を考える必要が出てきた。

図1に示したのは中央防災会議が提案している断層モデルである。従来考えられてきた宝永型地震の断層モデルより一回り大きなものとなっている。断層の長さは駿河湾の奥から日向灘までの、およそ700km程度になり、断層の幅は150km程度である。

断層の滑り量がどの程度になるかは最も重

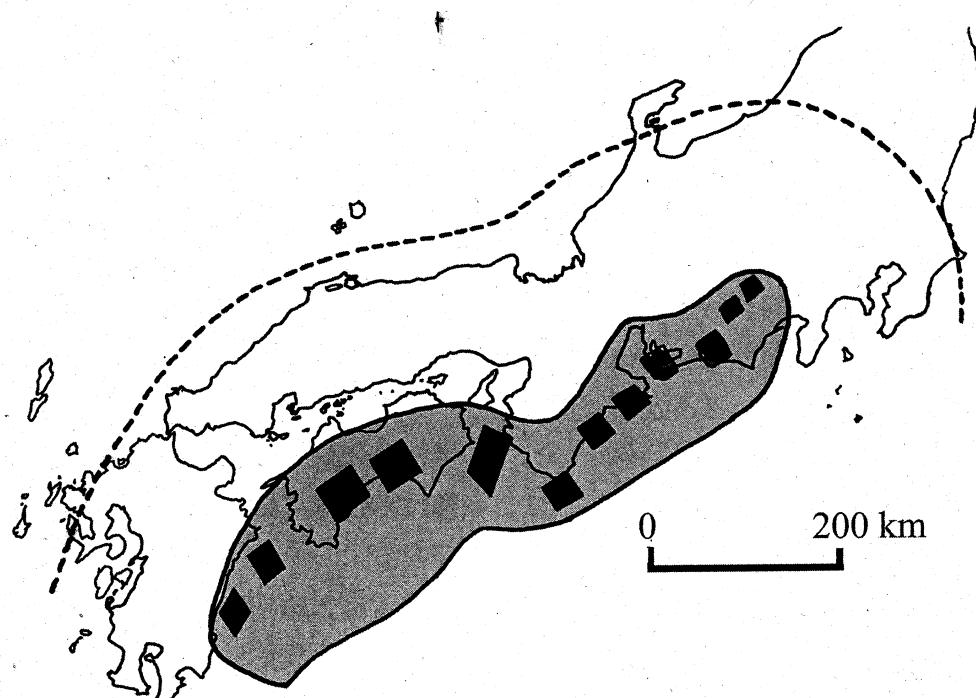


図1 想定される地震の震源域

薄い影をつけた部分が震源域、濃い影の部分は強振動発生域を表す。破線は液状化や山崩れ発生の可能性がある、断層から200kmの範囲を示す。

要な情報であるが、現時点ではまったく不明である。中央防災会議では、最悪の場合を想定するという立場から、最大50mくらいの滑りを想定している。

これまでの超巨大地震の解析などから、断層面の浅部、中部、そして深部の3領域で断層運動の性質に差があると考えられる⁴⁾。

浅部領域での断層運動は強い地震波は出さないが海底の地殻変動が大きくなり、津波の規模に大きくかかわる。

中部領域は長周期地震動などの比較的ゆっくりとした地震動の発生に関係していると考えられる領域である。

そして最後の深部領域は、短周期の地震動を発生する領域と考えられる。特に強い短周期地震波を発射する強震動発生域と呼ばれる領域は、この深部領域にある⁵⁾。

駿河・南海トラフ沿いの巨大地震も同様に、断層面の深さに関係した性質を持っていると考えられる。

3 強震動被害

地震動被害の中でまず考えなければならないのは、短周期強震動である。これは家屋・建物を倒壊させ、液状化や崖崩れなどを起こすと考えられる。東北地方太平洋沖地震の際には、津波の被害に隠れて目立たなかつたが、いろいろな被害が出ている。それでも地震の規模から見ると、少なめの被害で済んでいるように見える。

その一因として、断層が陸地から遠かつたことが挙げられる。強い短周期地震波を発生する断層下部領域は陸地によつたところになるが、それでも陸地の真下ではなかつた⁵⁾。

一方、駿河・南海トラフの巨大地震の場合、断層のかなりの部分が陸地の下になる（図1）。太平洋岸にあるほとんどの県の県庁所在地が断層の真上になる。陸地の下の断層面

はある程度の深さにあるので、実効的な距離が少し離れてはいるが、直下型地震と言っても差し支えがない。

特にすでに述べたように、強震動発生域が深部領域つまり都市直下に近いところにあると推定されることも深刻である。都市における強震動被害という面から見れば、阪神淡路大震災と同様のことが起きるおそれがある。

ところで、実は駿河・南海トラフ沿いでの巨大地震の際の強震動発生域がどこにあるかは、ほとんど分かっていない。そのため中央防災会議の想定では、いくつかの場合を考えている¹⁾。図1には、最悪の想定となる強震動発生域として一番陸地に近い場合の想定位置も示してある。

太平洋側の平野部の多くは断層の直上になる。軟弱な堆積物のために強く揺れやすいことと液状化が起きやすいことにより、被害が大きくなる。強震動により、多くの建築物やインフラストラクチャが被害を受けることになる。その中には建築年が古く耐震性が低い建物や、建築後の時間経過により劣化しつつある物も多い。

一般の住宅では、できる限り耐震診断を行い、耐震化を進める必要がある。ここでは公共の建築物として、学校校舎の問題を挙げておく。子どもが多かった時代に急いで建てられた校舎など、もともと耐震性に問題がある校舎が多く、耐震改修が進められてきている。

しかし、愛知県のようにほぼ100%の小中学校舎の耐震化が進んだ自治体もあるが、西南日本全体を見渡すと、耐震化はまだ不十分である。

例えば大阪府の場合、旧耐震基準の1981年以前に建築された小中学校では耐震化率は68.4%にすぎない（2012年現在）⁶⁾。地盤が弱い平野部にある都市で、学校数が多いことを考えると、学校の耐震化が遅れているとい

わざるを得ない。

建物は、年数が経つとともに劣化して、耐震強度がさらに下がるはずである。早急に耐震化を進め、かつその耐震性能を維持する必要がある。

そのほか震災の要因となる、老化しつつある国土の典型的な例として、いくつかの例をあげてみたい。まず古い原発の問題がある。ただこれは現在停止中であり、今後、廃炉となることを期待してここでは省略する。しかし、使用済み燃料等の保管といった問題は残り続ける。

高度成長期の象徴的建築物として、石油コンビナートがある。現在、それらの劣化が問題になりつつある⁷⁾。この劣化は、地震時にも被害をもたらす大きな要因になるとを考えられる。

コンビナートの多くは、平野部の海岸沿いに作られており、短周期強震動に襲われ、かつ、液状化も起きやすい地域に作られている。震動や不同沈下などにより、タンクや配管の破壊が起き、火災などを起こす可能性がある。後の津波の部分でも触れるが、もし被災して可燃流体の洩れが起きた場合、津波とともに流れ、津波火災につながる危険性をもっている³⁾。

次の例は、道路網関係である。いうまでもなく交通網の被災は、震災直後の救援および復旧・復興にも大きく影響する深刻な問題である。

高度成長期に、非常に多くの橋梁が建設されている。さまざまな橋があるので一概には言えないであろうが、通常、橋の耐用年数として50年ほどが目安になっている⁸⁾。

建設時期からみて、これから多くの橋が、耐用年数を過ぎるようになる。劣化した橋梁は、地震動にも弱いはずである。

そのほか高速道路や鉄道における盛り土、

崖の法面を持つ山間部の道路などでも、同様の経年劣化が起き、地震に対して脆弱になりつつあると考えられる。

例えば、2009年の駿河湾地震(M=6.5)では、東名高速道路の法面が崩壊した。これは盛り土内で岩石の風化が進み、粘土化することで水はけが悪くなり、強度が低下したために起きている⁹⁾。なお、東名高速道路の開通は1960年代末であった。

河川堤防や海岸堤防の経年劣化も進んでいるはずである。液状化や強震動により、これらの堤防が破壊される可能性が高い。平野部など低地で堤防破壊が起きると、後で述べる津波の被害はもとより、洪水を防ぐ能力を失うことになる。

堤防の破壊という点では、溜め池などの決壊も考慮しておく必要がある。近年農業人口の減少や高齢化などにより、適切に維持管理されていない溜め池が増えるとともに劣化が進んでいると予想される。

その一方で、溜め池の付近の宅地化が進み、池の直下に住宅が増えている可能性も高い。ひとたび堰堤が破壊されれば、大きな被害が出る。また溜め池そのものが埋め立てられ、宅地や工業地として造成されている場合もあり、谷の埋め立てと同じく地滑りなどの地震災害に見舞われやすい場所になっている。

また、溜め池と同様に、古い鉱山の廃鉱ダムについても、堰堤の強度が劣化してきている可能性もある。これらが地震時に破壊されれば、土砂災害と同じような災害になるとともに、環境汚染を起こすことになる。

道路や堤防の破壊につながる液状化や崖崩れといった地盤災害は、断層近傍だけに限られるわけではない。断層規模が大きくなるほど広範囲で起きる。M=9クラスの地震の場合には、液状化や崖崩れの起きる可能性は断層からおおよそ200kmにまで及ぶ^{10,11)}。

図1には、断層の末端から水平距離で200kmの距離も示してある。範囲の端は日本海側の海岸を越える。つまり、もしM=9クラスの超巨大地震が起きれば、関東から九州まで西南日本のどこででも、上で述べたような被害が起きる可能性がある。

平野や盆地であれば液状化が、一方、山間部や急傾斜地であれば山崩れ・崖崩れが起きる可能性がある。高齢化と過疎化が進んでいると考えられる中山間地で、崖崩れにより膨大な数の孤立集落が発生する可能性も考えておかねばならない。

4 長周期地震動

短周期の強い地震動以外にも、断層からはいろいろな周期の成分を持った弾性波が放射される。近年、長周期地震動と呼ばれるようになった周期数秒～十数秒の成分は、巨大地震で大きな被害をもたらす可能性が高い。

長周期地震動の本体は、表面波と呼ばれる弾性波で、遠くまで、大きな振幅のままで伝わる。表面付近に振動のエネルギーが集中しているので、沖積平野などでは、振幅が大きくなる。

さらにこうした平野部では、周りを硬い岩石からなる山地で取り囲まれているので、一度平野部に入射した地震波が、外に出ないで閉じ込められたようになる。そして容器中の水の振動のように、地面の揺れが長く続くことになる。

なお、短周期強震動の場合に問題となる平野部は、断層に近い平野であったが、長周期地震動では関東平野やさらに遠い平野も問題となる。

長周期地震動は、大きな地震ほど継続時間が長くなる。断層の破壊は一瞬にして行われるのではなく、一点から始まった破壊が2～3km/秒程度の速度で拡大をする。よって、

もし断層の長さが700kmで破壊が端から始まったとすれば、断層が破壊するだけで5,6分程度かかることになる。

この間、地震波が放出され続ける。平野部では、この継続時間にもともと長時間揺れやすい性質が重なることになる。振幅も、断層が大きくなるにつれて大きくなると推測される¹²⁾。駿河・南海トラフでM=9クラスの地震がおきるならば、われわれは、これまで経験したことのない大きさの長周期地震動に襲われることになる。

近年になって、長周期地震動が問題となってきたのは、固有振動の周期が長い高層ビルや長大橋などが多くなり、この地震動で共振が起きるようになってきたことによる。

しかもビルは大都市に建てられ、橋は平野部の幅広の川や湾をまたぐように作られている場合が多いので、揺れやすい沖積平野部に存在することになる。現時点では、高層ビルの経年劣化があまり進んでいないとしても、今後ますます、長周期地震動対策を進める必要がある。橋の劣化については、すでに述べてある。

大きな構造物ではないが、長周期地震動と同程度の固有周期で振動するものとして、石油などの備蓄タンクがある。コンビナートの劣化の問題点はすでに述べたが、その中にあら燃料・原料タンクそして原油やLNGの備蓄を目的としたタンクが問題となる。

タンク自体の弾性的な固有振動は比較的短周期であるが、タンク内の流体は、長周期で揺されたとき共振により、大きな揺れ振動(スロッシング)を起こす。この時タンクには、余分な圧力や加速度がかかることとともに、上部のふたの部分が大きく揺れることになる。内部の流体が外に漏れ出す他、タンクの破壊、そして発火などが起きやすくなる。

地震によるタンクの火災は、古くは1964

年新潟地震 ($M=7.5$) で起きたが、近年になり長周期地震動によると考えられる火災(2003年十勝沖地震の際の北海道苫小牧市、2011年東北地方太平洋沖地震の際の千葉県市原市)など、いくつか見られている。

タンクの数や設置地域数が増えていることもあるが、タンクの劣化にも目を配る必要がある。コンビナートが海岸部に作られていることから、備蓄タンク等は次に述べる津波でも問題となる。

5 津波被害

東北地方太平洋沖地震と比べて、駿河・南海トラフの巨大地震にともなう津波で深刻なのは、断層上部領域の大きな津波を発生する領域が、海岸に近いことである。そのために高い津波が到達するまでの時間が短いことである。海岸部の集落では、住民の高齢化が進んでいると予想される。高齢者を含めて、住民の素早い避難ができる避難路などを作つておく必要がある。

濃尾平野や大阪平野では、海拔 0m 以下の地域が広がっている。その一方で、これらの低地を守っている海岸および河川堤防は、津波を防ごうという物ではなく、高潮もしくは通常の増水を想定したものである。濃尾や大阪平野でもし想定されているような津波が来れば、都市の中の河川を高い津波が遡上することになり、津波を防ぐことは難しい。

平野の問題を具体的に見るために、濃尾平野について少し詳しく見てみよう。海岸堤防は 1959 年、伊勢湾台風の後に作られたものが主体であり、かなり劣化が進んでいる可能性が高い。その上に、高度成長期の地下水くみ上げにより、海岸部で 1m 程度の地盤沈下が起きており、堤防も同様の沈下を起こしているはずである。

地震時にはたとえ壊れなかつたとしても、

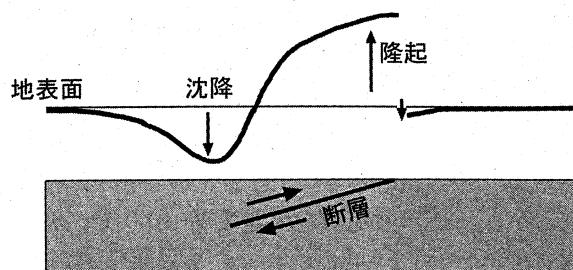


図 2 断層運動と地表での変動

低角の逆断層が運動すると、地表面では隆起だけでなく沈降部分も現れる。沈降量は断層の下端の真上付近で一番大きくなる。断層の上端部では大きな隆起となり、海底の場合津波を発生する。

液状化により、さらに堤防の高さが下がると考えられる。それに加えて、断層運動とともに地殻変動により、さらに 1m オーダーの沈下が起きる可能性がある。

東北地方太平洋沖地震の際に、三陸の海岸部に沿って地盤沈下が起きた。これは断層運動によるものである。低角度で傾く断层面を持つ逆断層では、沈下が起きる場所がある。沈下が最も大きいのは断層下端部の真上付近になる(図 2)。

東北地方太平洋沖地震では、断層下端部はまだ海域の下にあったが、駿河・南海トラフの地震では、下端部は陸の下に来る(図 1)。伊勢湾付近では、濃尾平野の端付近に断層の下端がくる。

このことから、巨大地震にともなって濃尾平野南部では沈降が起きると予想される。沈降量は、断层面での滑り量によるが、1~2m の沈降を覚悟しなければならない。

このように考えると、濃尾平野の低地部を守っている堤防は、たとえ地震により破壊されなくても、各種原因だけで 2~3m ほど堤防が低くなる。そこに高さ 3~4m の津波が来れば、それだけで乗り越えられてしまう。

すでに述べたように、堤防自体が劣化していて、地震により崩壊する可能性も高い。津波を防ぐことは、ほとんど無理である。おそ

らく同様のことが、大阪平野でも起きると考えられる。

ただし、濃尾平野や大阪平野に津波が達するのは、地震発生後かなり時間が経過してからである。広い範囲が低地であるので、逃避場所の確保という問題はあるが、津波から逃げる時間はかなりあると考えられる。もちろん高齢者などの災害弱者の避難を、迅速に行える工夫が必要である。

大きな津波に襲われることなく過ぎた期間に拡大した都市部では、津波の被害を受けるという想定があまりないまま開発されてきており、弱点を多く持っている。

例えば、各地に多くの地下鉄や地下街などが造られているが、これら的一部は、駿河・南海トラフの巨大地震による津波が到達する領域に作られている。津波により大量の海水が流入するのをどう防ぐかが、重要な課題となりつつある。

また、海岸部に作られたコンビナートが津波に襲われることになる。すでに何度か見るように、コンビナートは、地震動の影響で、津波襲来以前に一部壊れている可能性が高い。タンクから漏れた燃料が、津波によって陸地の内部まで運ばれるようなことが起きたら、大規模な津波火災を引き起こす危険性が高いと考えられる³⁾。

おわりに

将来、西南日本で発生すると考えられる巨大地震で想定される被害等について、経年劣化が進んだ国土（インフラストラクチャー）という点も含めて考えてきた。こうした劣化が、一次的な震災を大きくする要因であることは深刻に考えなければならない。

しかし震災は、これだけでは終わらない。例として挙げたように道路や橋梁などが広範囲・多数地点で破壊される可能性が高い。ま

た、ここでは触れなかつたが、航空や海運の拠点も、被害を受けるはずである。これらの交通・運輸網の被害は、直接の地震・津波災害後の救援活動等を非常に難しくすることは明らかである。

堤防等の崩壊も、水害等の多い日本においては、深刻な災害である。一次災害だけでなく、二次災害をも極力少なくするうえでも、残り少ないかもしれない貴重な時間を使い、国土の老化を防ぎ、状態を良好に維持することが必要である。

注および引用文献

- 1) 中央防災会議『南海トラフの被害想定について（第二次報告）』(2013).
- 2) 佐竹健治・堀宗朗編『東日本大震災の科学』(東京大学出版会, 2012).
- 3) 日本科学者会議編『地震と津波-メカニズムと備え』(本の泉社, 2012)
- 4) Lay, T. et al.: Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults. *J. Geophys. Res.*, 117, doi:10.1029/2011JB009133 (2012).
- 5) Kurahashi, S. & Irikura, K.: Source model for generating strong ground motions during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 571-576 (2011).
- 6) 文部科学省「公立学校施設の耐震化の推進」, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zysei/taisin/ (2013年7月10日閲覧)
- 7) NHK「コンビナートクライシス」, http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail02_3294_all.html (2013年7月10日閲覧)
- 8) 依田輝彦・高木千太郎男『橋が危ない』(ぎょうせい, 2010).
- 9) 中日本高速道路株式会社「東名高速道路牧ノ原地区地震災害の対応について」『道路行政セミナー』2009年(11), 1-9 (2009).
- 10) Ambraseys, N. N.: Engineering seismology. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 17, 1-104 (1988).
- 11) Keeper, D. K.: Landslides caused by earthquakes. *Geological Soc. America Bull.*, 95, 406-421 (1984).
- 12) 断層が大きくなれば長周期地震波が連続して次々と到達することになる。平野部で長い時間振動が続けばそれらが重なり合う事になる。ランダムな波とすれば、最大振幅はおよそ重なる波の数の平方根に比例すると見積もられるので、断層が大きくなれば最大振幅も大きくなると予想される。