

2016年9月17日（土）神戸市役所4号館（危機管理センター）

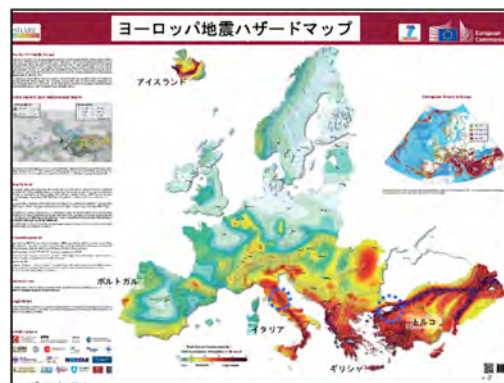


「欧州・地中海地域における地震ハザード ～最近の事例と取り組み～」

青地 秀雄 フランス地質調査所シニア研究員・プロジェクトリーダー
神戸大学都市安全研究センター客員教授

報告書作成者：神戸大学北後研究室 池田明德

欧州の地震は日本人にはなじみが薄いかもしいないが、2009年ラクイラ地震、2012年エミリア・ロマーニャ地震（ともにイタリア）など欧州・地中海地域においても被害地震は起こりうる。21世紀に入って、国際的な地震ハザード情報の共有を目的に、観測網整備、基礎データ、ハザード評価の統一化、地震即時情報などが欧州研究プロジェクトの一環として格段に進歩してきた。地域内では、トルコ・イスタンブール付近が1999年イズミット地震以降、最も危険視されている。本報告では、特に大規模計算に基づいた地震シナリオの確率的導出について紹介していただいた。



① イタリア地震について

まず3週間ほど前の2016年8月24日にイタリア中部で発生した地震について調べた内容について報告を行った。おおよそ気象庁震度6弱に相当する地震だったと言える。震央のアクェモリや震央から10kmほどのアマトリーチェなどでは建物の倒壊被害が多くみられるのに対し、同程度の距離の町であるチッタレーレやノルチェでは被害がほとんど報告されていない。

この被害の差はなぜ起こったのか？過去の地震の記録を見ると、今回の地震を含め数多くの地震が一直線上に発生しており、今回の地震はノルチェ地震とラクイラ地震の間の“空白域”で発生したことが分かる。ノルチェの町は、1979年に大きな地震被害を受けた。2016年1月の記事によると、ノルチェでは1979年の地震からの復興事業が完了したばかりであることが分かる。また、今回の地震の記録を見る限り、アマトリーチェとノルチェを襲った揺れにはほとんど差はなかったようだ。震源の南北で被害に差がある理由はいろいろ考えられるが、ノルチェの町が36年前に地震を経験しているという事実は考慮すべきポイントの1つとなるだろう。

② トルコのマルマラ海について

次に地震ハザードが地域で最も高いトルコについて取り上げる。20世紀から大地震が東から西に伝わって発生している（北アナトリア断層）。1999年に大きな地震が発生し、今後高確率で大地震の発生が予想される“空白域”に当たるのはマルマラ海である。

断層からわずか20kmほどの距離には地域で最も多い人口1400万人の町イスタンブールがあり、地震ハザード及びリスクが極めて高い。トルコをはじめ、日本や欧州の研究者たちが協力して観測などに貢

質疑応答

Q- 「経験的・統計的」ハザード評価手法」と「数値シミュレーションに基づく確率論的」手法」の違いは何なのか？

A- 「経験的・統計的」にハザードを評価する場合、一般に“平均”を用いる。ハザードマップなどで出て来る時なども平均の形で出てきている。シミュレーションの場合も平均は出て来るが、“極端な”ハザード例を得ることができる。今までに経験したことの無い災害に対する「想定外」も、力学的にしっかり考慮すれば経験したことの無い規模でも想定外でなくなるはずである点に違いがある。

Q- 評価というのは発災のデータが蓄積されて初めてどちらが良いか分かるということか？

A- 現在はそうだ（と言ってしまっても良い）。経験的にハザードを評価するというのはそういうこと。

Q- 「経験的・統計的」ハザード評価にも、文献資料や地質調査で過去の地震の記録がよくわかる地域とそうでない地域で差が生まれるような気がするが、どうか？

A- その通りだと思う。欧州でも分かっていないところがあるはずで、そこは注意してみないといけない。フランスやイタリアなど昔から文献が多く残されている所とそれ以外で異なる。

Q- 「数値シミュレーションに基づく確率論的」手法において、パラメータを設定してシナリオを設定すると思うが、シナリオの設定には限界があるのか？またはそれ以外の客観的な論理的シナリオを設定できるのか？

A- 基本的には分かっているものがベース。例えば沈み込み帯以外で断層面がどこにあるか分かっていないものについては研究者によっても解釈が若干異なり、もしかしたら全く別の形かもしれないという点は常にある。数多くあらゆる可能性は取り入れていかなくてはならないと考えている。

Q- 「ひずみ場」の例で“ひずみが非常に蓄積 ($T=0.97$)”や“ひずみが十分にたまっている ($T=0.66$)”などと表現されているが、素人目線では弾性／塑性という表現の方が理解しやすいと思う。

地下 10～15 kmになると非常に高圧状態になり、弾性／塑性が分けにくくなると思うが、どのぐらいの体積になるのか？具体的には断層内でこの塑性場がどの程度の体積を占めていると捉えれば良いか。

A- 1つのパラメータ（＝力のひずみのかかり具合）のみ与えた。これは塑性領域ではなく、脆性的（弾性的）な地下 4～12 kmの間でどのぐらいの力がたまっているかを簡単に 1つのパラメータで与えたということ。シミュレーションの中では地下 12 kmまでの浅いところではバリッと（脆性的に）破壊されるように、より深いところではぬるっと（塑性的に）破壊されるように計算されている。

Q- 熊本地震の2週間前に阿蘇へ旅行したのだが、のちに地震が起こるなんて考えもしなかった。欧州では地震の発生前に何か知る手立てがあるのだろうか？

A- 地震の発生“前”に知るというのは非常に難しい。ハザードマップ程度のものならある。地震後ということであれば、一部地震速報のようなものはあるが。

Q- 欧州でもハザードマップのようなものがあってどこで地震が起こりやすいかわかる程度か？

A- そうですね。欧州ではないがカリフォルニアで地震の発生予測を天気予報のように統計的に求めて試験的に流し始めてはいる。一方欧州ではどうしても地震の発生頻度が低いため不確定性の方が高くなるため難しいと思う。

Q- ラクイラ地震の復興に関してはかなり長期的な見通しをもとに慎重に行われているという評価を聞いたが、今回の地震でも意外と耐震のことは考えられていないことも分かった。そのようなことから地震が起こるようなところとそこでどういった対策がとられているのかが気になるが、欧州ではそのような一体的な取り組みがなされていたりしないのだろうか？

A- 今のところまだ難しい段階。というのも地震に対する新しい建築法も、新築の建物には適用されるが既存の建物には適用されない。なかなか進まない状況。

「平成 28 年熊本地震の踏査報告」

沖村 孝 神戸大学名誉教授 一般財団法人建設工学研究所代表理事

作成者: 地域連携推進室 小川まり子

本学の沖村孝名誉教授より、平成 28 年熊本地震踏査報告と題してご講演頂きました。沖村先生は2016年の7月4日～6日、8月8日、9日に阿蘇地方及び益城町などの被害状況を調査されました。陥没地形や山腹崩壊、家屋被害、液状化に関するご報告内容を以下に記載します。



沖村孝先生

＜熊本地震の概要と陥没地形の特徴＞

2016年4月14日22時頃、16日深夜1時頃に震度7の地震が発生した。別府—島原地溝帯に沿う布田川・日奈久断層での地震であった。断層は正断層型であり、ひっぱり型の右横ずれ断層である（六甲山の断層は圧縮型）。兜岩展望台（図1）の下のほうのカルデラフロア（図1の左枠）にて陥没地形が確認され、亀裂がペアで確認された。北側の亀裂は南落ち、南側の亀裂は北落ちであった。幅30mほどで、1m～1.5mほどの深さで陥没していた。

＜阿蘇大橋付近の山腹崩壊＞

阿蘇大橋付近の外輪山は9合目付近からの大規模崩壊を起こしていた（右枠の崩落形態①に該当）。斜面が深くえぐられていた。

崩壊した斜面の色について次のような特徴が見られた。7月に現地で見えた斜面の色は薄茶色であったが、崩壊直後のものと思われる国土地理院の画像を見ると、崩壊した斜面の色は黒色であった。このような色の変化により、地震直後の山腹斜面はそれほど深くえぐられていなかったと考えている。その理由の一つを以下に述べる。山腹は地層構造になっており、下部層から順に溶岩⇒軽石（薄茶色）⇒黒ボク（黒色。火山の降下堆積物）となっている。黒ボク層内にすべり面があり、その後、余震や雨などで浸食が起きたことで、黒ボク層よりも下の軽石層がみえたのではと考える。

＜地震時の山腹斜面の崩壊の形態＞

- ① 9合目付近の急斜面から崩壊が始まり、土石流のようになって流下する（1948年長野西武地震による御嶽山の土石流）
- ② 傾斜が10度前後の緩斜面で、地すべりのように発生する（2008年荒砥沢地すべり）

* 両者の違いは砂系統もしくはシルトなどの粘着系統が卓越しているかかどうかである。

＜益城町の3地域ごとの家屋被害＞

東西に広がる益城町を横断する南北の道路を、下方から下段・中段・上段と分けて考えた。3地域ごとの家屋被害の状況を右枠に示す。秋津川周辺の沖積地で被害を受けていないことに疑問を持ったが、氾濫区域のため用途地域のような感じで規制がかかっていたのが最近になって緩和され、多くの家が建設されたと考えている。

＜益城町の3地域ごとの家屋被害＞

- ・下段～秋津川周辺も含む。新しい家屋が多く、比較的被害が少なかった。1階が全壊している場合が多かった
 - ・中段～県道28号付近。古い家屋が多く、全壊している事例があった
 - ・上段～新しい家屋が多い。1階部分の被害が見られた。
- * 家屋の倒壊は強振動によるものと思われる場合が多く、宅地の破壊を原因とした家屋の倒壊はほとんど見られなかった

*** 新聞(右枠の)紹介**

=>新耐震基準を満たした家屋でも接合部が強化されていないと倒壊の可能性がある一方で、接合部が強化されていたにも関わらず、不適切な接合のために倒壊した事例があった。

<建築に関する基準と益城町の家屋被害の関係>

旧耐震基準=>27.9%(770棟中215棟)が倒壊
新耐震基準=>6.9%(1185棟中82棟)が倒壊
2000年6月に柱と結合部強化規定
=>2000年6月以前に建てられた82棟中75棟の家屋が倒壊
=>7棟が2000年6月以降の新築で倒壊(内訳:3棟は接合法が不適切、1棟は宅盤崩壊、その他は不明だが、サイト増幅特性が影響したのではとされる)

(2016年9月13日の日本経済新聞より)

<白川付近の液状化について>

熊本市南区近見1の白川付近の病院は液状化により地盤沈下が起こり、スロープを設けないと建物内への出入りが困難となった。このあたりは浸水地域とされていたが、液状化の要注意地域には入っていなかった。国土地理院の治水地形分布図を用いることで、旧河川の様子などから液状化の危険性を以下のように知ることができる。この付近では扇状地が展開していて、白川が大きく蛇行している。内側に瀬(川の流れが遅く水深の浅い場所)ができるので通水断面積が小さくなる。したがって高水時の場合越流しやすくなり、氾濫原になる。氾濫原の中に自然堤防や旧河道があり、液状化になりやすいことがわかる。

<カルデラフロア>

カルデラの西側に立野地区があり、そこで外輪山が切れる。たまっていた水が白川となって熊本のほうに流れて、結果的に、ここにはカルデラフロアまたはカルデラ床といわれる平原ができた。カルデラ床の範囲は南北が15km、東西が18km。厚さは約70m。牧草地が広がり、農地としても使用されている。



図1 阿蘇カルデラ周辺
(<http://sakura1.higo.ed.jp/ws/kchigaku/hp/aso/zu/aso1.htm>, 2016年10月16日アクセス)

*****質疑応答*****

Q.不適切な接合とは？

A.建築基準法のある特例では、小規模の木造の平屋は基礎と柱をつなぐような接合金具を取り付けるような工事が要求されていない。それが不適切な接合の原因の一つにつながっているのではと思っています。

Q.阿蘇谷の陥没は上下方向と鉛直方向はどうなっているのか？床がすくと落ちるのか？

A.カルデラ床が落ちるとしても10mくらいではないかと考える。70mも落ちない。カルデラ床はもともと締め固めて形成されたわけではなく、水がたまって、白川となって流れ出したものなので、少し力が加わるだけで割れると予想されるが、詳細な回答は、地質関係の研究者からの研究発表を待ったほうが良い。

Q.南阿蘇は外輪も平地も被害が少なかったが俵山付近のトンネルが崩壊している。南側は平穏なのになぜ崩れたのか。断層の影響か？

A.位置関係が定かではないが、断層の端に俵山があるということであれば、地震時のエネルギーが俵山付近に集中し、発散していったのではと思う。

Q.立野地区の場所は、白川と黒川が合流して、黒川でかなり深くえぐられているが、将来は元の大地を保つことが可能か？

A.阿蘇大橋付近の道路は復旧不可能なので新たにトンネルを掘削する予定であるが、川はそのままの状態なので、白川への流出作用は今後も続くことになる。

Q.益城の被害のなかで下段は新しい家が多く、中段は古い家が多いということについて、都市安全研究センターの長尾教授によると、中段あたりで強振動の原因となる振動特性が家屋と共振しやすい特性があるとしている。断層が中段あたりを通っているということだが、そのあたりの関連性についてお気づきの点があれば教えてほしい。

A.中段付近の家屋の形成過程の観点から述べる。中段付近は段丘となっており、湧き水が豊富であることから昔から家屋が建てられたのではと思っている。

Q.土砂が溜まっていくところで液状化が起りやすいということか？

A.自然堤防はほとんどが砂でできている。そのような自然堤防上で、さらに地下水位が高い箇所では液状化になりやすい。昔から、自然堤防のところで集落が展開してきた。氾濫原なので井戸を少し掘れば地下水が出るからである。

Q.建築関係の研究機関が発行している資料を拝見したところ、鉛直方向の地震動の最大加速度が800ガルを超えているところがあったことについて、そのような鉛直動の大きさは不安を与えるのであまり話をしないほうがいいと思うが、資料は残して欲しいというジレンマを感じている。

A. 21年前の自分の体験からすると、完全にパニックになっていたので地震直後の記憶がないが、音が聞こえてきたのだけは記憶に残っている。地震波をスペクトルでみた場合、卓越周期は約1秒であった。この数値は阪神・淡路大震災のときと同じである。スペクトルでみても今回の地震は木造家屋にとって非常に厳しい条件であった。

Q.治水地形分類図からみて、自然堤防上に新たに住むことのリスクは高いか？

A.自然堤防上は、地下水は取りやすいが液状化しやすい環境である。リスクは高いと思う。