

構造物の耐震設計で考慮する余震発生モデルの提案

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂井 公俊
正会員 室野 剛隆

1. はじめに 大規模地震が発生した場合、多くの地震においてそれよりも小さいか同程度の余震が発生している。今後は構造物の性能評価の際に余震までを含んだ検討を行うことが要求される可能性がある。

ところが構造物への余震を含んだ入力地震動の設定方法に関する検討はほとんど例がない。これは、余震発生が地震毎に大きくばらついており、事前予測が難しいことも理由の一つであると考えられる。しかしながら、構造物の設計を念頭においた場合には、詳細な余震発生モデルが必要なのではなく、ある期間内に平均的にどの程度の規模の余震が何回発生するか、という大局的な値が必要となる。そこで、過去の本震・余震データを整理し、統計処理することにより、構造物の性能照査時に考慮すべき余震の発生モデルを構築することを目的とする。

2. 地震データの収集、整理 本震・余震データの抽出を行う。本震・余震の関連付けは、干場らの相互関連度付き震源リストに基づいて実施した¹⁾。ただし本震としては M6.0 以上、余震としては本震との M 差が 3.0 以内のデータを対象とし、余震発生数が 10 個未満の地震は対象から除外した。さらに地震調査研究推進本部の地震カテゴリー²⁾のうち、内陸地殻内の地震と海域の地震のみを対象とした。前震-本震-余震型の地震においては、最初に発生した前震を本震として扱い、この地震を上回る規模の地震に対しても余震として扱う。地震データベースとしては、1923 年～2010 年 9 月までの記録を使用した³⁾。最終的に、内陸地殻内の地震として 50 地震、海域の地震として 211 地震を本震として抽出した(図 1)。

構造物の性能評価時の余震の表現方法としては、余震の規模と余震発生のタイミングが重要な情報となる。余震規模は、想定すべき地震作用の大きさを設定する際に必要であり、余震発生のタイミングは、地盤-構造物の本震後の復旧状態との関連を考える際に必要となる。そこで本検討では、本震発生後の時間経過に伴う、余震の規模、発生個数に主眼をおいて考察を行うこととした。

3. 余震発生モデル化

(1) **本震の地震規模と最大余震の地震規模の関係** まず最大余震の地震規模が本震の地震規模毎に対してどのような関係となっているかについて考察する。横軸に本震の地震規模、縦軸に最大余震の本震とのマグニチュード差を取り、各地震毎にプロットした結果を図 2 に示す。この図には本震規模毎の平均値もプロットしている。

得られた結果を見ると、地震毎のバラツキは大きいものの、平均値は本震の地震規模によらず概ね一定の値を示しているように見える。具体的には、海溝型地震では最大余震は本震よりもマグニチュード 1.0 程度小さく、内陸活断層による地震ではそれと同程度か多少小さな規模となっている。この結果より、最大余震の本震との地震規模の差をパラメータとしてまとめることにより、本震の規模に依存せず統一的な指標での議論が可能であることが分かる。

(2) **本震発生後の時間経過に伴う余震の発生個数の推移** 本震発生後の時間経過に伴う、余震発生個数の推移を図 3 に示す。図 3(a)は単位時間あたりの余震発生

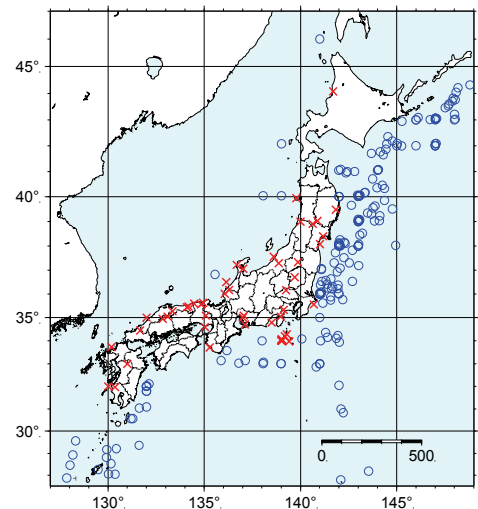


図1 検討に用いた本震データの震央位置
(内陸活断層による地震：50地震(×印)、
海溝型地震：211地震(○印))

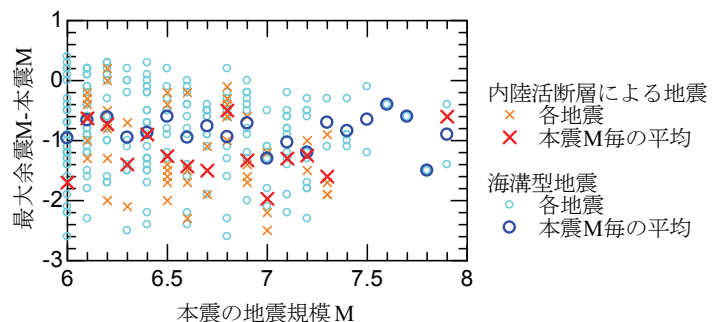


図2 本震の地震規模と最大余震の地震規模の関係

キーワード 本震, 余震, 地震規模, 経過時間, 回数

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL042-573-7394

個数、図 3(b)は余震の総発生個数である。対象とする余震の数は前述したように本震との地震規模 M の差が 3.0 以内の余震である。この図より、単位時間あたりの余震発生個数は、時間が経過するに従い減少していくこと

が分かる。また、最終的な余震発生個数は 100 個以上となっている。地震区分毎の比較を行うと、本震発生後 10 時間程度までは内陸活断層による地震の方が余震発生個数が多くなっているが、それ以降は概ね同程度の発生頻度となっている。

図 4 は、図 3(b)の結果を本震とのマグニチュード差毎に分類した結果を示したものである。この図を見ると、当然ではあるがマグニチュードの大きな余震ほど発生個数が少ない。また、時間経過に伴い余震発生数が減少するという全体的な傾向は図 3(b)と変わらないが、海溝型地震と内陸活断層による地震を比較すると、比較的規模の小さな余震 (M 差-1.5 以下) は内陸活断層による地震の方が発生個数が多く、規模の大きな余震 (M 差-1.4 以上) では海溝型地震の方が多くなっていることが確認できる。

(3) 本震発生後の余震発生のモデル化 以上の検討を踏まえ、本震発生後の時間経過に伴って発生する余震のタイミングとその規模についてモデル化を行う。モデル化の方法としては、図 4 から時間ごと、規模ごとに、地震発生個数の期待値を算定する。この期待値を離散化することによって、余震規模と発生のタイミングをモデル化する。ここで、図 4 の整理ではある幅を持った形で余震規模の整理を行っていたが、最終的な地震動評価時の簡便性に配慮し、各区分内の代表的な規模の余震が発生するとしてモデル化を行った (例えば M 差-2.4~-1.5 の余震は、モデル化時に M 差-2.0 の余震として定義する)。最終的に得られた本震後の経過時間-余震規模の関係を図 5 に示す。この結果より、例えば本震とのマグニチュード差が-1 程度の余震は、本震発生後数時間 (10 時間以内) で 1 回程度発生し、その後 100 時間 (4 日程度) までの間に内陸活断層による地震ではもう 1 回、海溝型地震では 2 回程度の余震発生が想定される。紙面の都合上掲載しないが、このモデルは当然のように、図 3(b)の余震発生個数、図 3(a)の発生頻度の結果を満足した結果となっている。本提案モデルを使用することで過去の大規模地震における余震発生状況を踏まえた上で、今後想定される大規模地震における余震を評価することが可能となる。今後は本モデルを用いて、地盤、構造物への余震の影響評価を行う予定である。

参考文献 1) 干場他, 気象研究所研究報告, 第 44 巻第 3 号, pp.83-90, 1993.
2) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 1998. 3) 気象庁: 地震・火山月報 (カタログ編) 平成 22 年 9 月, 2010.

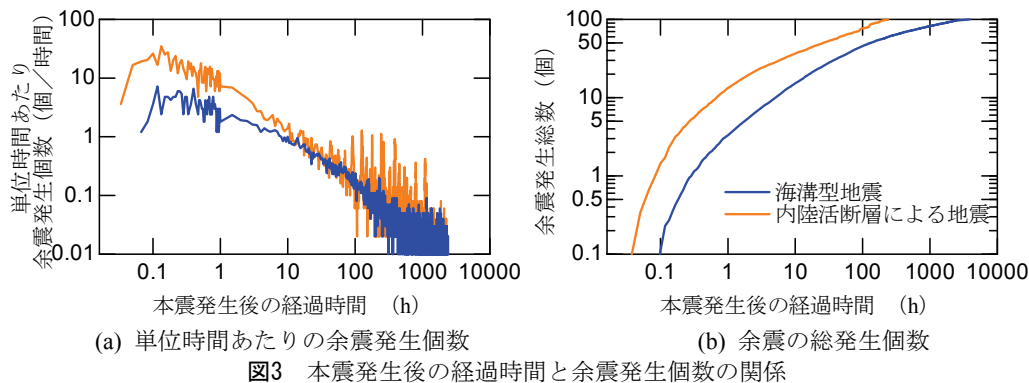


図3 本震発生後の経過時間と余震発生個数の関係

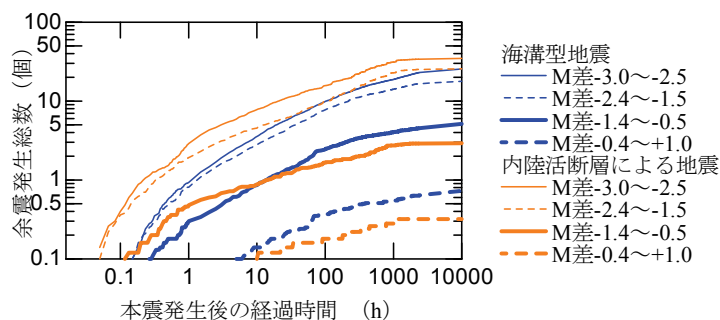


図4 本震発生後の経過時間と余震の総発生個数の関係 (本震とのM差毎に区分)

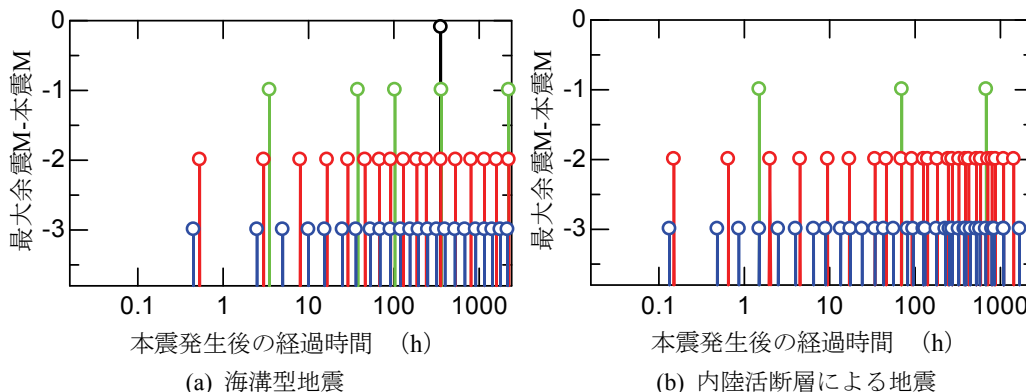


図5 余震発生モデル