

(97) 短期間を対象とする確率地震荷重の推定法

豊橋技術科学大学 正員 栗林 栄一  
 東京エンジニアリング(株) 正員 由井 洋三  
 富士通(株) 正員 ○廣瀬 進

1. はじめに

土木技術の発達により、長大化した重要度の高い構造物が建設されるようになってきた。このため、その設計段階で建設地点周辺において地震活動度に基づいたより詳細な地震動強度を定めることが必要になってきている。一般に、地震活動状況が時間的に変化しなければ、対象となる期間に関係なく同一の方法で地震動強度が推定できる。このため、現在では、既往の地震データを基に将来の地震活動を仮定し、耐用年数のように比較的長期間を対象に地震荷重の推定が行われている。しかし、構造物の大規模化により、その工事期間は長期化する傾向にある。本研究では、このように重要な長大構造物の設計において問題となる工事中の地震荷重を検討する。これは、短期間に対して、地震動強度の決定要因がいかに影響を及ぼすかを明石海峡を対象とし、短期間に対して推定することの妥当性を検討したものである。

2. 地震荷重の推定法

短期間を対象にする場合には比較的小規模な地震まで考慮する必要があるので、ここでは、類似の地震発生状況を示す地域を震源域として扱う面震源区分によって地震荷重を推定する。<sup>1)</sup> 推定は、図-1に示す手順で行う。まず、建設地点周辺の地盤データ及び地震データを収集する。地震データより面震源区分を設定して地震発生状況をGutenberg-Richter式(以下G-R式と記す)で近似する。G-R式としては、切りつめたG-R式と改良されたG-R式の2種類の修正されたG-R式を検討することにする。これに、地震の距離減衰特性を考慮すれば建設地点における地震動強度の期待値が求まる。さらに、この期待値に地震の生起確率と距離減衰特性のばらつきを考慮すれば、地震動強度の確率モデルが求まる。

3. 地震資料及び距離減衰特性

明石海峡(135° 02' E 34° 36' N)を対象地点として取り上げ、短期間を対象に想定される地震動強度に影響を及ぼす要因についてその影響度を検討する。この場合、使用するデータは次のようである。

地震資料は、宇津による「1885年～1925年の日本の地震活動」<sup>2)</sup>、気象庁発行の地震月報別冊(1926年～1967年)<sup>3)</sup>と1968年から1984年までの地震月報(12月号)<sup>4)</sup>である。データの信頼性などを検討して、解析に使用する地震データは、1885年から1925年までをマグニチュード 6.0以上、1926年から1974年までをマグニチュード 5.5以上、1975年から1984年までをマグニチュード 5.0以上とした。また、起こり得る最大の地震のマグニチュードを検討するために理科年表(1985年版)の日本付近の被害地震年代表を使用した。ただし、416年から1925年までの河角の提案したマグニチュードについては、表の注記により0.5を減じて使用した。マグニチュード7以上の地震の震源分布とマグニチュード5以上の地震の単位面積当りの発生率から、図2に示すような面震源に分けた。416年から1984年の間の最大の地震のマグニチュードを表1に示す。

一方、最大地震動の距離減衰特性は、明石海峡がほぼ1種地盤(道路橋示方書耐震設計編の地盤種別の分類に準ずる)であるため、既往の研究<sup>5)</sup>より、

$$A_{max} = 1073.0 \times 10^{0.221 \cdot M} \times (r + 30)^{-1.251} \quad (1)$$

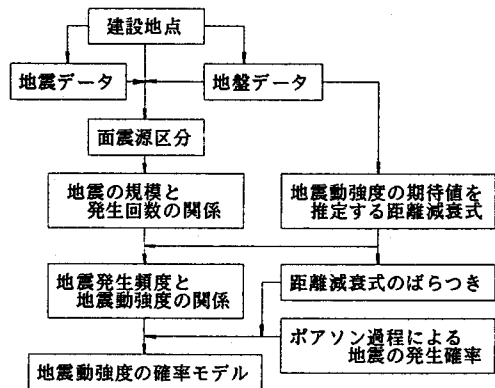
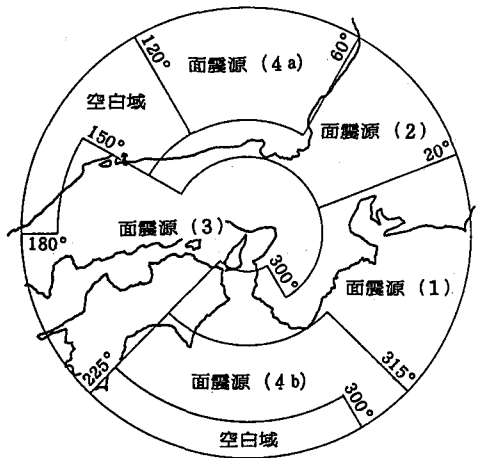


図-1 地震動強度の推定フロー



(注意)  
過去100年間にマグニチュード  
5以上の地震が起こっていない  
地域を空白域とする。

図2 面震源区分

となる。ここで、 $A_{max}$ は最大加速度の期待値[gal]、 $m$ はマグニチュード、 $r$ は震央距離[km]である。

#### 4. 短期間に対する地震荷重の決定要因の影響

2.に述べた推定法により、明石海峡を対象に、短期間に対して想定される地震動強度に影響を及ぼす要因を検討する。検討する要因は、①地震活動状況の近似方法、②起こり得る最大の地震のマグニチュード( $\mu$ )、③考慮すべき地震の最小マグニチュード( $m_0$ )、④解析の対象とすべき地域の範囲、等である。

##### (1) 検討方法

一般に、起こり得る地震の最大値は有限であると考えられるが、この最大値は明かでない。そのため、考慮すべき地震の大きさを破壊確率によって規定することにする。構造物の破壊確率は、既往の研究によれば、建築物や橋梁などで $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度であるとされている。<sup>6)</sup> このため、考慮すべき地震の大きさを破壊確率 $10^{-6}$ とし、この規模の地震が発生すれば構造物はほぼ破壊するものとする。よって、構造物の破壊確率は地震の生起確率によって決定される。ある期間Tの間に生起確率 $10^{-6}$ 程度の地震が期待される状態で年平均発生回数 $\lambda$ の下限を規定する。また、対象とする期間内において発生する平均回数が1回以下の地震にポアソン過程を適用するものとして $\lambda$ の上限を規定する。この上限値についても、下限値と同様に破壊確率 $10^{-6}$ 程度となる値を用いるべきであるが、これは、各構造物によって異なっているため、期間内に平均1回は起こる地震(すなわち、地震発生確率0.63の地震)では、構造物はほとんど壊れない(破壊確率 $10^{-6}$ 以下)ものとした。これより、期間Tに対して考慮すべき $\lambda$ の範囲が図3のように求まる。

地震荷重の決定要因の検討方法は、各要因について、短期間に対して的確と考えられる値を基準値に選び、この要因の基準値とこれを変化させた場合とを比較する。まず、要因を変化させた場合に求められた最大地震動の期待値を基準値に対して求められた最大地震動の期待値で除した比率を年平均発生回数に対して求める。そして、図3に示すように期間Tに対して考慮すべき年平均発生回数の範囲内で比率の最大

表1 416年から1984年の間の最大マグニチュード

面震源	$m_u$	416年から1984年の間に最大のマグニチュードを観測した地震の発生年月日及び震源位置	
1	7.9	1096年12月17日	137.3° E 34.2° N
		1854年12月23日	137.8° E 34.1° N
		1944年12月7日	136° 37' E 33° 48' N
2	8.0	1891年10月28日	136° 36' E 35° 36' N
3	6.9	880年11月23日	132.8° E 35.4° N
		1905年6月2日	132° 30' E 34° 06' N
4	8.1	887年8月26日	135.0° E 33.0° N

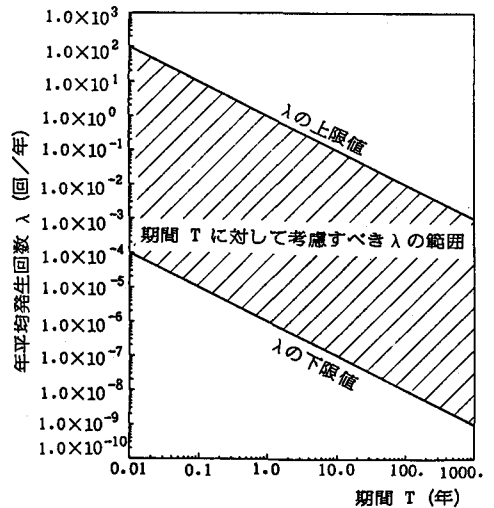


図3 期間に対して考慮すべき発生頻度の範囲

値を求めて、検討の指標値とする。

### (2) 地震活動状況を表すG-R式の検討

地震活動状況を表すG-R式として、切りつめたG-R式と改良されたG-R式を用いた場合を比較した結果、両者に大差はなかった。また、この2つの修正されたG-R式を用いて最大地震動の期待値を計算してみると、切りつめたG-R式を用いた場合に最大地震動の期待値がやや大きくなるが、短期間を対象にする場合には両者に大差はないことから、切りつめたG-R式を用いて以下の検討を行うこととした。

### (3) G-R式の外挿範囲を決定する最小マグニチュードの検討

短期間を対象に地震荷重を設定する場合には、比較的発生頻度の高い地震まで考慮しなければならない。このため、G-R式の推定に用いた地震データの最小マグニチュード4.95では不十分であり、マグニチュードが4.95より小さな範囲をG-R式の外挿により推定し、これを解析に使用する必要がある。そこで、外挿範囲を決定する最小マグニチュード $m_0$ の地震動強度への影響度を検討する。(1)で述べた検討方法により、 $m_0=0$ とした場合を基準にして、 $m_0=1.95, 3.95$ および4.95の場合について期間Tに対する減少率を求めると、図4のようになる。この場合 $\mu_u$ は、表1に示す416年から1984年間の最大値を用いる。この図から、1年を対象とした最大地震動の期待値は、最小マグニチュード $m_0=1.95$ でほぼ収束していると考えられる。

### (4) 起こり得る最大の地震のマグニチュードの検討

起こり得る最大の地震のマグニチュードとして理科年表の被害地震年代表に掲載されている416年から1984年間の最大値をそれぞれの面震源に対して用いた場合、取り扱う地震データ(1885年から1984年間の間)中の最大値に0.1を加えた値をそれぞれの面震源に対して用いた場合、理科年表の被害地震年代表中の最大値 $\mu_u=8.1$ を全ての面震源に適用した場合の3ケースについて検討を行う。最小マグニチュード $m_0=0$ として、(1)で述べた検討方法により、416年から1984年間の最大値を用いた場合を基準にすれば、他の2ケースの増加率は図5のようになる。この図から、対象期間が短くなるほど $\mu_u$ の影響を受けないことや、50年から100年程度とみられる耐用期間に対しては $\mu_u$ の検討が重要となることがわかる。また、全ての面震源に対して $\mu_u=8.1$ とすると最大地震動の期待値が非常に大きくなるのは、明石海峡を含む第3面震源の起こり得る最大の地震のマグニチュードを過大評価しているためである。

### (5) 解析対象地域の検討

解析対象地域として、半径300kmの同心円内を取り扱ってきたが、ここでは、この解析対象地域の範囲を検討する。半径300km以内の範囲を4つの面震源に分ける場合と半径300kmの同心円の外側に半径300kmから500kmの地域を加えて5つの面震源にする場合を比較した結果、両者に差はほとんどなく、半径300km以遠で起こる地震は地震

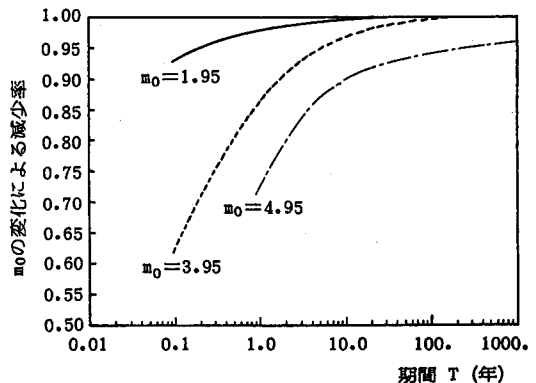


図4  $m_0$  の変化による最大地震動の期待値の減少率

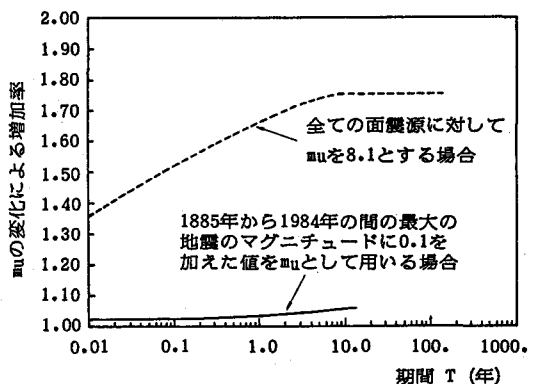


図5  $\mu_u$  の変化による最大地震動の期待値の増加率

動強度に影響を及ぼさないものと考えられる。

また、面震源区分の有効性をみるために、半径300km以内の範囲を4つの面震源に分ける場合を基準として、半径300km以内の範囲を1つの面震源とする場合および半径500km以内の範囲を1つの面震源とする場合を(1)節で述べた方法により検討すれば、その増加率は、図6のようになる。このように、広範囲を1つの面震源と考えれば、地震動強度の期待値は大きく変化することになる。これは、解析対象地点付近の地震活動状況を過大評価していることや、あまりに広範囲を1つの面震源と考えたためG-R式への適合性が悪くなったためである。

### 5. あとがき

これらの検討より、短期間を対象に地震荷重を推定する場合の条件として次の4項目を提案する。

- ① G-R式として切りつめたG-R式を用いる。
- ②  $m_0$  は、対象とする期間に応じて、1年以下の短期間に対して0~2程度を用いる。
- ③  $\mu$  は、短期間にはあまり影響を及ぼさないのので、理科年表の被害地震年代表中の最大値を用いる。
- ④ 解析対象地域として、半径300km以内の範囲を考慮すれば十分である。

このような条件を考え合わせて、適用期間0.1~1.0年に対する地震動強度の期待値を求めてみると、最大加速度について図7のようになる。

図7は、地震動強度の期待値を示しており、これにポアソン過程による地震の発生確率と図7に示した期待値からのばらつきを考慮して、ある期間に対する地震動強度を確率量として求めることができる。

### 《参考文献》

- 1) C. Cornell: Engineering Seismic Risk Analysis, BSSA, vol.58, No.5, 1968.
- 2) 宇津: 1885年~1925年の日本の地震活動, 震研彙報, vol.54, 1979.
- 3) 気象庁: 地震月報別冊第2号, 第3号, 第6号.
- 4) 気象庁: 地震月報(1968年~1984年).
- 5) 川島, 相沢, 高橋: 最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告, 第166号, 1985.
- 6) Nowak, A.S. and Lind, N.C.: Practical Bridge code calibration, Proc. ASCE, Vol.105, No. ST12, 1979.

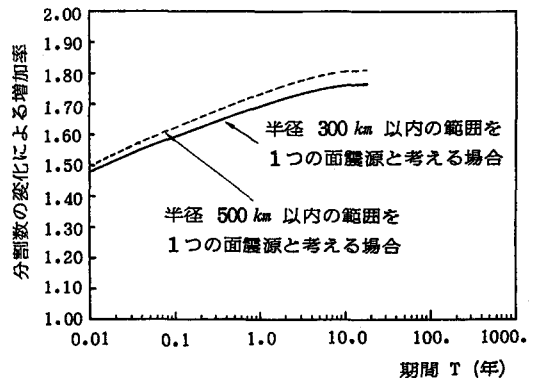


図6 分割数の変化による最大地震動の期待値の増加率

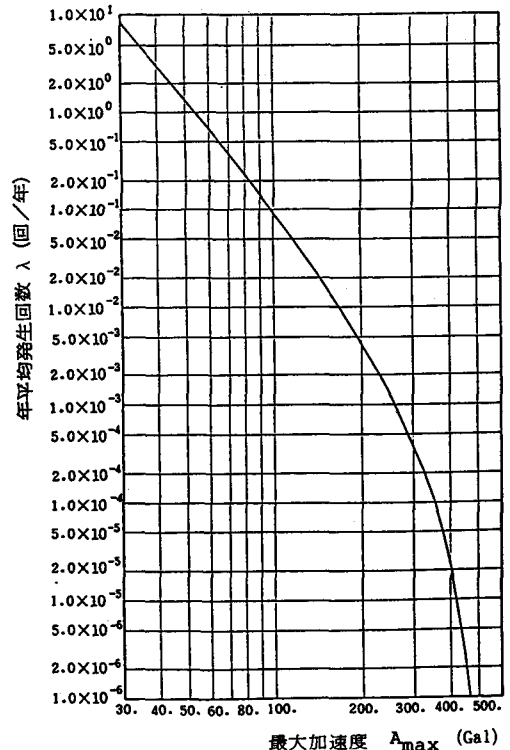


図7 適用期間0.1年~1.0年の最大加速度