

港湾の施設の技術上の基準・同解説〔2007〕における「M6.5」直下地震の特性について

森下重和*・根木貴史**・安藤誠***・幸福辰巳****・坂口章*****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹

*** 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

**** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 設計第一課 課長

***** 国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所 技術開発課長

レベル2地震動の設定にあたっては、対象地点およびその周辺に活断層が知られていない場合でも、マグニチュード6.5程度の直下地震が起こる可能性に配慮するといった、港湾の施設の技術上の基準・同解説〔2007〕において想定される地震の規模の下限について検討した。比較検討するために、中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」で検討された震源断層を予め特定しにくい地震「M6.9」と比べることで、基準・同解説で設定された「M6.5」直下地震の妥当性について確認した。

キーワード：港湾の施設の技術上の基準・同解説〔2007〕, 港湾「M6.5」直下地震, 中防首都「M6.9」直下地震

1. はじめに

港湾の施設の技術上の基準・同解説〔2007〕(以下、港湾新基準とする)では、活断層が見つからない場所で想定する直下地震の規模について、土木学会の第3次提言「対象地点およびその周辺に活断層が知られていない場合でも、レベル2地震動の設定にあたってはマグニチュード6.5程度の直下地震が起こる可能性に配慮するものとし、これによる地震動をレベル2地震動の下限とする。」の考え方に準拠している¹⁾。しかしながら、震源断層を予め特定しにくい地震の規模として「M6.5」が妥当であるかどうかについては、しばしば議論される。これは、中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」では震源断層を予め特定しにくい地震の規模を「M6.9」としていることや、地表地震断層が明確とはいえない2004年新潟県中越地震「M6.8」、地表地震断層が現れなかったとされる1984年長野県西部地震「M6.8」および1997年鹿児島県北西部地震「M6.6」などのマグニチュード(気象庁マグニチュード)が、いずれも「M6.5」を上回っていることに起因している。

断層モデルを決めるパラメータは多岐に渡っており、上述の地震動の規模をマグニチュードの大きさだけで、一概に比較することは非常に難しい。ここでは、港湾新基準で標準とされる手法を用いて、「M6.5」直下地震(以下、港湾「M6.5」直下地震とする)と中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」における震源断層を予め特定しにくい地震「M6.9」(以下、中防首都「M6.9」直下地震とする)とを比較して、港湾「M6.5」直下地震が、港湾構造物に対して、より厳しい条件となる地震であることを確認した²⁾³⁾。

2. 港湾「M6.5」直下地震と中防首都「M6.9」

直下地震の概要

2.1 港湾「M6.5」直下地震の概要

(1) 算定手法について

地震動に影響を及ぼす要因として重要なのは、震源断層の破壊過程の影響(震源特性)と震源から地震基盤に至る伝播経路の影響(伝播経路特性)、それに地震基盤上に存在する堆積層の影響(サイト特性)の三者である。港湾新基準では、既往の地震の特定の周期で地震動が卓越しやすい周期特性に着目して、サイト特性の影響を重要視している。この堆積層の影響(サイト特性)は、地震動の振幅と位相の両方に影響を及ぼすものであるが、このうち振幅に及ぼす影響を表す用語として、サイト増幅特性を用いている。サイト増幅特性は、最近の研究によりスペクトルインバージョン等の手法により精度よく求めることが可能になった。ただし、本検討では、一般的な地震動の規模を比較検討するため、任意の対象地点ごとの特性である、サイト増幅特性の影響は考慮しない。すなわち、地震基盤相当での検討を行った。

今回の地震動計算手法は、震源に関して巨視的震源特性(断層の大きさ、深さ、傾斜等、断層全体のパラメータ)、微視的震源特性(アスペリティの位置、個数、面積等、アスペリティのパラメータ)として、震源パラメータを設定し、伝播経路特性としてBoore(1983)の統計的な地震波形を用いた、統計的グリーン関数法にて算出している。

(2) 港湾「M6.5」直下地震の設定規模について

活断層とは、過去の大地震の際に地表に出現した地震断層（地表地震断層）の痕跡であるが、比較的小規模な地震の場合、地表地震断層は出現しないので、活断層のない場所でも、比較的小規模な地震は発生する可能性がある。武村は、1885年から1995年までに我が国の内陸で発生した $M \geq 5.8$ の地殻内地震について、地震の規模と地表地震断層の出現率の関係、および地震の規模と被害程度との関係を調べている⁴⁾。それによると、 $M \leq 6.5$ の地震では地表地震断層の出現率は極めて低いが、 $M \geq 6.8$ の地震では出現率は100%に近いことを報告している。港湾新基準では、活断層のない場所で想定する直下地震の規模は、M6.5程度とするのが適当であるとしている。

2.2 中防首都「M6.9」直下地震の概要

首都地域（東京都、神奈川県、埼玉県及び千葉県並びにその周辺地域）には、人口や建物が密集し、政治、経済、行政機能等の中枢機能が極めて高度に集積していることから、大きな地震がひとたび発生した場合に、人的被害や経済被害は甚大なものと予測される。このような背景をふまえて、直下の地震に対してよりの確な防災対策を講じるために、首都直下地震対策専門調査会が設置された⁵⁾。同調査会では、活断層が地表で認められない地震規模の上限については、今後の学術的な議論を待つ必要もあるが、防災上の観点から、今回の検討では、M6台の最大であるM6.9の地震を想定するとしている。

3. 港湾「M6.5」直下地震と中防首都「M6.9」

直下地震の震源特性

3.1 港湾「M6.5」直下地震の震源特性

図-1と表-1に、港湾「M6.5」直下地震の横ずれ断層の震源モデルと震源パラメータを示す。また、中防首都「M6.9」直下地震との比較を目的としているため、参考に逆断層モデルでも検討を行った。逆断層の震源モデルを図-2に示す。

3.2 中防首都「M6.9」直下地震の震源特性

図-3と表-2に、中防首都「M6.9」直下地震の震源モデルと震源パラメータを示す。ここで、断層上端深さについては、調査会で推計された対象地震の中で最も小さい値が用いられた、成田空港直下及び立川市直下における $d=5\text{km}$ とした。また参考に、中央防災会議首都直下地震対策専門調査会で示された都心東部直下地震の震源モデルと予測された震度分布を図-4に示す。

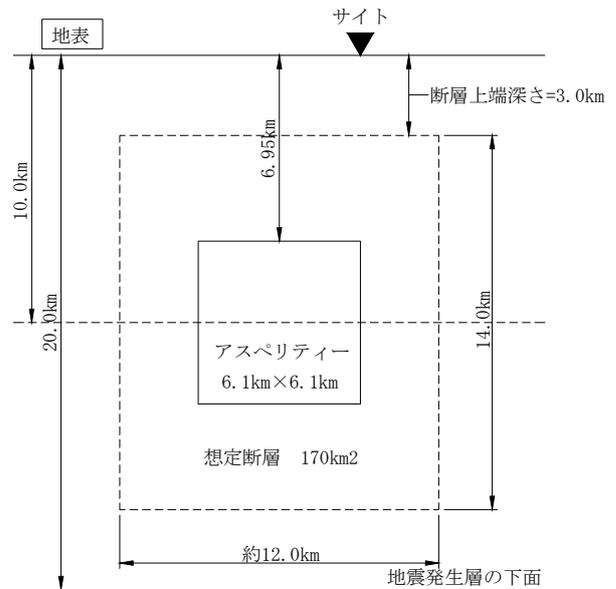


図-1 港湾・横ずれ断層モデル

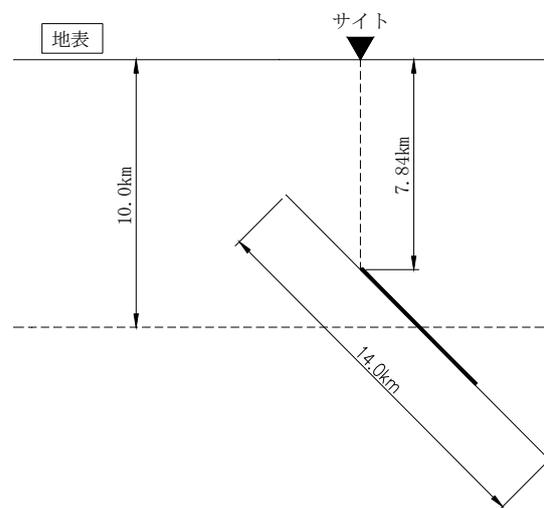
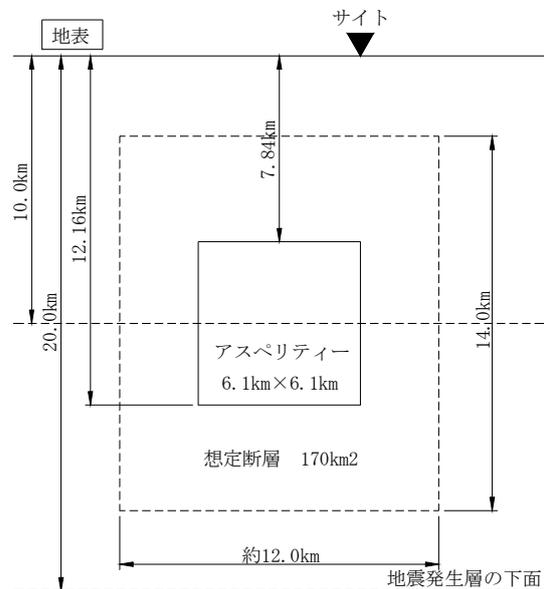


図-2 港湾・逆断層モデル

表-1 港湾・震源パラメータ

震源特性	設定値	備考
傾斜	90 度	
マグニチュード M	6.5	
地震モーメント Mo	2.11E+25 dyn*cm	$M = (\log(Mo) - 17.72) / 1.17$
モーメントマグニチュード Mw	6.2	$Mw = (\log(Mo) - 16.20) / 1.50$
面積 S	170 km ²	$S = 2.23E-15 \times Mo^{2/3}$
平均すべり量 D	37.5 cm	$Mo = \mu DS$
S波速度 Vs	3.5 km/s	
平均密度 ρ	2.7 g/cm ³	
剛性率 μ	3.31E+11 dyn/cm ²	
アスペリティー面積 Sa	37.2 km ²	$Sa = 0.22S$
アスペリティー半径 ra	3.4 km	
アスペリティーモーメント Moa	9.30E+24 dyn*cm	$Moa = 0.44Mo$
アスペリティー平均すべり量 Da	76 cm	$Moa = \mu DaSa$
アスペリティー平均応力降下量 σ a	99.8 bar	$\sigma a = 7\pi^{1.5} \times Mo / 16 \times S^{1.5}$
アスペリティー幅 Wa	6.1 km	
アスペリティーライズタイム Tra	0.54 s	$Tra = Wa / Vr / 4$
Q値	104 × f ^{0.63}	九州における既往の研究
fmax	13.5 Hz	地震調査研究推進本部
破壊伝播速度 Vr	2.8 km/s	$Vr = 0.8Vs$

表-2 中防・震源パラメータ

震源特性	設定値	備考
上端深さ d(km)	6	
長さ L(km)	17.38	$\log L = 0.6M - 2.9$
幅 W(km)	11.22	
走行 θ	315	
傾斜 δ (°)	45	
すべり角 λ (°)	90	
マグニチュード M	6.9	活断層が確実に現れるMは6.9より大きいことから設定
地震モーメント Mo(Nm)	1.00E+19	$\log Mo = 1.5Mw + 16.1$ (金森)
モーメントマグニチュード Mw	6.6	$Mw = 0.879M + 0.536$
●マクロ的に見たパラメータ		
断層面積 S(km ²)	195	$\log S = 1/2 \log Mo - 10.71$
S波速度 Vs(km/s)	3.5	地殻内の平均的値
平均密度 ρ(g/cm ³)	2.8	地殻内の平均的値
剛性率 μ(N/m ²)	3.4E+10	$\mu = \rho Vs^2$
平均的な応力パラメータ Δσ(Mpa)	3	平均的な値
平均すべり量 D(m)	1.50	$Mo = \mu DS$
破壊伝播速度 Vr(km/s)	2.5	$Vr = 0.72Vs$
要素断層の大きさ(km)	2.1 × 1.4	
C(km)	8.0	
Fmax(Hz)	6	兵庫県南部地震の観測記録から推定された値
fc(Hz)	0.115	$fc = 4.9 \times 10^6 Vs (\Delta \sigma / Mo)^{1/3}$
短周期レベル A(Nm/s ²)	5.20E+18	$A = Mo \times (4.9 \times 10^6 Vs (\Delta \sigma / Mo)^{1/3} \times 2\pi)^2$
●アスペリティー等内部パラメータ		
アスペリティーの総面積 Sa(km ²)	49	$Sa = S \times 0.22$
アスペリティー内の平均すべり量 Da(m)	2.99	$Da = D \times 2.01$
アスペリティーでの総モーメント Moa(Nm)	4.00E+18	$Moa = \mu DaSa$
要素断層の平均モーメント(Nm)	2.41E+17	
アスペリティーの総応力パラメータ Δσ a(Mpa)	12.0	$\Delta \sigma a = \Delta \sigma \times S / Sa$
fc(Hz)	0.247	$fc = 4.9 \times 10^6 Vs (\Delta \sigma a / Moa)^{1/3}$
短周期レベル(Nm/s ²)	9.66E+18	$A = Moa \times (4.9 \times 10^6 Vs (\Delta \sigma a / Moa)^{1/3} \times 2\pi)^2$
●背景領域		
面積 Sb(km ²)	146	$Sb = S - Sa$
地震モーメント Mob(Nm)	6.00E+18	$Mob = Mo - Moa$
要素断層の平均モーメント(Nm)	1.21E+17	
すべり量 Db(m)	1.20	$Mob = \mu DbSb$
応力パラメータ Δσ b(Mpa)	2.4	$\Delta \sigma b = 0.2 \Delta \sigma a$
fc(Hz)	0.126	$fc = 4.9 \times 10^6 Vs (\Delta \sigma b / Mob)^{1/3}$
短周期レベル(Nm/s ²)	3.78E+18	$A = Mob \times (4.9 \times 10^6 Vs (\Delta \sigma b / Mob)^{1/3} \times 2\pi)^2$
ライズタイム(s)	1.12	$Tr = W / (2Vr)$

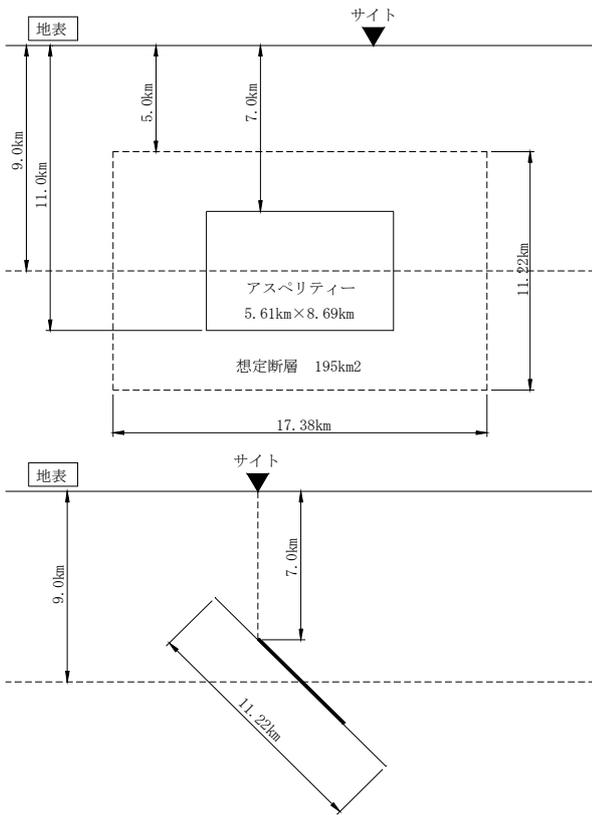


図-3 中防・断層モデル

3.3 両震源特性の違いについて

- 中防首都「M6.9」直下地震は、図-4 の文章中にもあるように、断層近傍での振幅を適切に評価する目的で、

震源断層の深さが、距離補正パラメータ ($C=8\text{ km}$) の分、深く設定されている。

- 中防首都「M6.9」直下地震の破壊伝播速度 ($V_r=2.5\text{ km}$) の値が港湾「M6.5」直下地震 ($V_r=2.8\text{ km}$) より小さく設定されている。
- 中防首都「M6.9」直下地震のライズタイム ($T_r=1.12\text{ s}$) の値が港湾「M6.5」直下地震より長く設定されている。ライズタイムとは、震源で断層のずれが形成されるのに要する時間であるが、この時間が短い場合は地震動の速度・加速度が大きくなる。
- 中防首都「M6.9」直下地震の断層上端深さ (5 km) の値が港湾「M6.5」直下地震 (3 km) より深く設定されている。

4. 地震動予測結果の比較

4.1 地震動予測結果

ここまでに示した、二つの地震に対する地震動予測結果の加速度フーリエスペクトル及び加速度応答スペクトルの比較を図-5~7 に示す。ここで、図中に示す (STR) は横ずれ断層、(DIP) は逆断層を示す。

また、港湾「M6.5」直下地震において上述の両震源特性の違いに関連する震源パラメータのうち、いくつかの値を中防首都「M6.9」直下地震の値に変えて、検討を行った結果を、図-8 に示す。変更の内容は、以下の通りである。

- 港湾「M6.5」直下地震を $C=8.0\text{ km}$ として検討する。

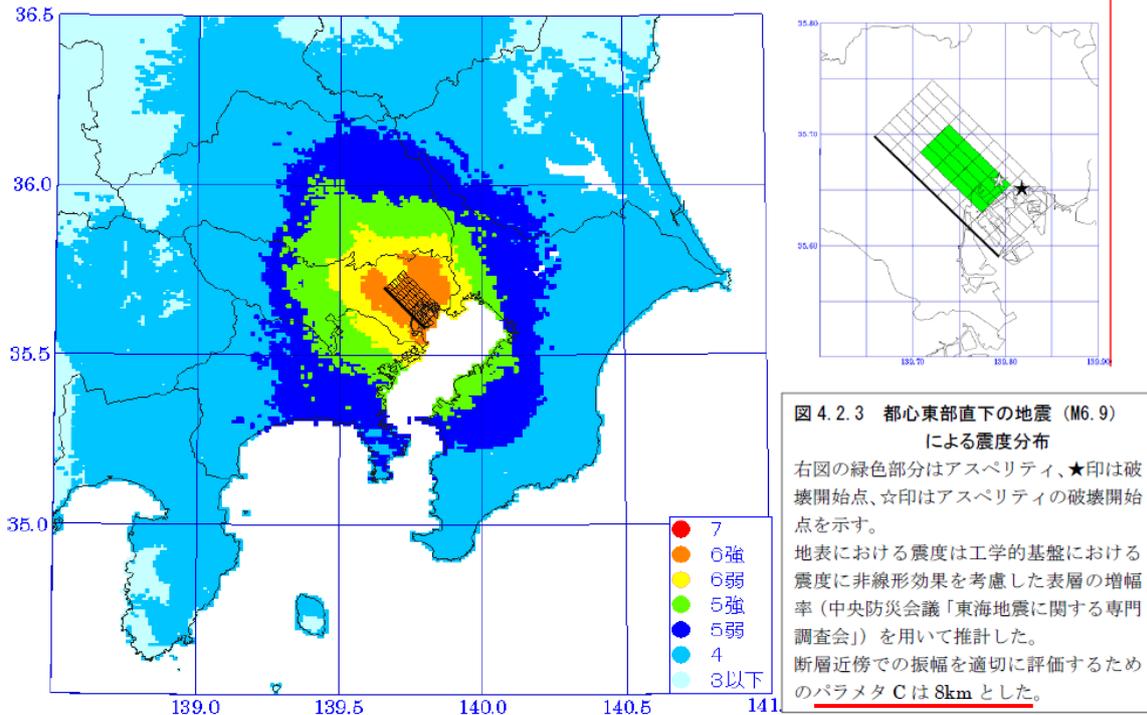


図-4 中防・断層モデルと予測された震度分布

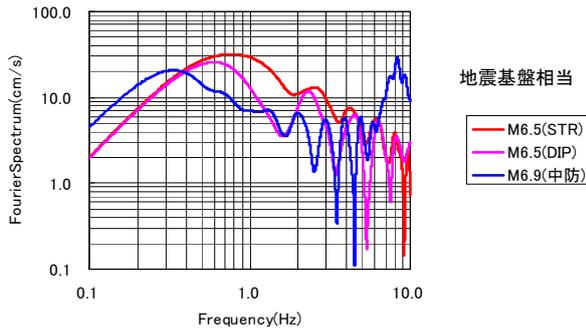


図-5 加速度フーリエスペクトルの比較

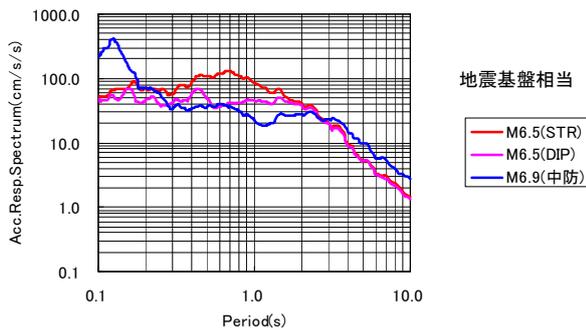


図-6 加速度応答スペクトルの比較
(NS成分)

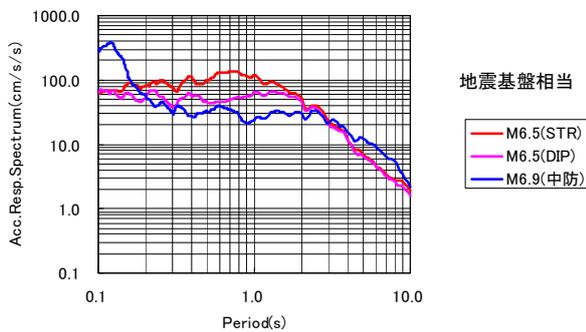


図-7 加速度応答スペクトルの比較
(EW成分)

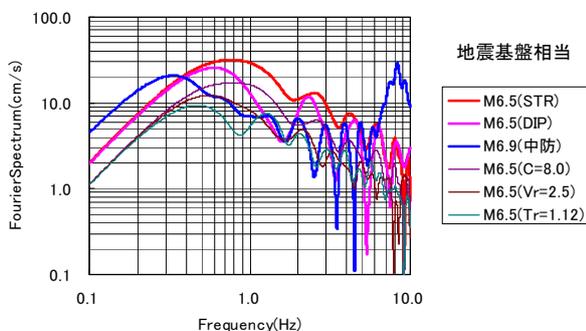


図-8 震源パラメータ変更 (参考図)

- 港湾「M6.5」直下地震を $C=8.0\text{km}$, $V_r=2.5\text{km}$ として検討する。
- 港湾「M6.5」直下地震を $C=8.0\text{km}$, $T_r=1.12\text{s}$ として検討する。

4.2 地震動予測結果の比較 (まとめ)

図-5~7の地震動予測結果の比較図より、港湾構造物で重要とされる0.5~2Hzの周期帯に着目して比較すると、港湾「M6.5」直下地震は、中防首都「M6.9」直下地震に比べて、十分大きな予測結果を与えていることがわかる。また図-8からは、いくつかの震源パラメータを中防首都「M6.9」直下地震の値に変えて検討することにより、港湾「M6.5」直下地震のフーリエスペクトルの値が小さく出ていることが確認できる。

したがって、繰り返しになるが、港湾新基準で想定されているM6.5直下地震は、中央防災会議の震源断層を予め特定しにくい地震と比較しても、十分に大きな地震動を与えているといえる。

5. 謝辞

本稿は国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所発注による「平成18年度管内港湾地震動技術検討調査」ならびに国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所発注による「平成18年度管内設計入力地震動検討業務」での検討の一部を取りまとめたものである。検討に際し、両検討委員会(委員長:善功 九州大学大学院工学研究院教授)、(委員長:井合進 京都大学防災研究所教授)の委員各位および各整備局関係者には、貴重なご意見・ご指導をいただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木構造物の耐震設計法に関する第3次提言と解説
<http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo3/index.html>
- 2) 国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所:管内港湾地震動技術検討調査 報告書, P.151, 2007.3.
- 3) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所:管内港湾地震動調査 報告書, pp.5-6, 2007.3.
- 4) 武村雅之:日本列島における地殻内地震のスケーリング則 地震断層の影響および地震被害との関連, 地震2, Vol.51, pp.211~228, 1998.
- 5) 内閣府首都直下対策専門調査会
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html>