

## 1. はじめに

平成18年4月の港湾基準改訂では、設計地震動の評価手法の改定が予定されている。一般に地震時の地盤の揺れは震源特性(震源断層の破壊過程の影響)・伝播経路特性(震源から対象地点直下の地震基盤までの伝播経路の影響)・サイト特性(対象地点近傍の堆積層の影響)の三者により決定される。新基準では、これら地震動に及ぼす諸要因を適切に評価することにより、対象地点で実際に生じうるような地震動を設定し、これを用いて施設の性能照査を行うことが予定されている。

新基準では、対象地点のサイト特性を適切に反映した設計地震動が設定されるため、地下構造等の影響により地震動の増幅されやすい地点では強めの地震動が、そうでない地点では弱めの地震動が設定されるようになる。この結果、過不足のない耐震設計ができるようになる。また、地震動の特性として周期特性(どのような周期成分を強く含むか)は構造物への影響を考える上で重要であるが、これについても、対象地点の周期特性を反映した地震動が設定されるようになる。従来より、構造物の固有周期と地震動の卓越周期とが一致しないように配慮することは、耐震設計上最も重要なことと考えられてきた。しかしながら、これまでは、例えば八戸港で1968年に取得された強震記録(周期2.5秒の成分を強く含むことで有名)を、地下構造が八戸港とは異なる地点での耐震設計にも適用していたため、設計地震動の卓越周期は実際のものとは異なっており、そのため、卓越周期を避ける設計は不可能であった。今回の改訂により、対象地点の周期特性を反映した地震動が設定されるようになるため、卓越周期を避ける設計が可能となる。

本稿では、新しい港湾基準の考え方を空港に適用した事例として、長尾断層帯の地震を対象とし、高松空港における地震動の評価を行った事例を紹介する。

## 2. 新しい港湾基準におけるレベル2地震動の設定方法

### 2.1 レベル2地震動設定の概要

レベル2地震動は、土木学会の第三次提言([www.jsce.or.jp/committee/earth/propo3/index.html](http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo3/index.html))により、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動と定義される。レベル2地震動を設定するためには、過去に大きな被害をもたらした地震の再来や活断層の活動による地震、さらにM6.5の直下地震などを考慮し、その中で、対象港湾に最大級の強さの地震動をもたらす地震をレベル2対象地震として選定する。次に、レベル2対象地震の巨視的震源パラメタおよび微視的震源パラメタを設定した上で、対象地震が発生した場合の対象地点における地震動としてレベル2地震動を設定する。地震動の設定に用いるサイト特性は、対象港湾およびその周辺における強震観測結果に基づき設定する。

### 2.2 震源パラメタの設定方法

強震動の評価に必要な震源パラメタには巨視的震源パラメタ(震源断層全体のパラメタ)、微視的震源パラメタ(アスペリティのパラメタ)およびその他のパラメタ(破壊開始点、破壊伝播速度、破壊伝播様式)がある。

東南海・南海地震のように、過去に大きな被害をもたらした地震の再来を想定する場合には、過去に実際に発生した地震（過去のイベントという）に関する資料を可能な限り活用する。巨視的震源パラメタについては、過去のイベントのパラメタが明らかにされている場合には、それらのパラメタを用いることができる。微視的震源パラメタ（アスペリティ位置など）については、波形データ等に基づいて微視的震源パラメタが調べられている地震の再来を想定する場合には、それらのパラメタを用いることができる。例えば1923年関東地震の再来を考える場合がこれに該当する。また、波形データは残されていないが、歴史資料から各地の震度が推定されている地震の再来を想定する場合には、震度データと整合するように設定された微視的震源パラメタ（例えば中央防災会議，2002）を用いることができる。例えば宝永地震や安政東海地震，安政南海地震の再来を考える場合がこれに該当する。

活断層で発生する地震の巨視的震源パラメタは次の考え方で定める。まず、地質・地形・地理学的調査結果に基づき、断層の走向、傾斜角、断層長さを求める。断層の幅は地震発生層の厚さと断層の傾斜角を考慮して定める。地震モーメントは断層面積から経験的關係式により定める。微視的震源パラメタ（アスペリティのパラメタ）についても、アスペリティの面積、地震モーメント、ライズタイムなどを経験的關係式（Somerville et al, 1999 など）から定めることができる。アスペリティの配置は、破壊開始点との関係で、アスペリティのうち一つの破壊が対象港湾に向かって進展するような配置とする。これは、フォワードディレクティヴィティの影響により、アスペリティの破壊が進展する方向に向かって特に強い地震波が出ること、また、このようにして生成された強い地震波が1995年兵庫県南部地震の大被害に結びついたこと（例えば入倉，1996）を考慮したものである。

M6.5の直下地震を想定する場合には、地震モーメント  $M_0$  は経験的關係式（武村，1990）によりマグニチュードから算定することができる。以下は活断層で発生する地震を想定する場合と同様である。

### 2.3 強震波形計算手法

強震波形計算手法には、経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法などがある。このうち統計的グリーン関数法では、まず、想定地震のアスペリティ（の一つ）に注目し（図-1の large event ）、これを  $N \times N$  に分割し、分割後の各々の小断層と同じ面積の小地震（図-1の small event ）を考える。小地震の震源特性および伝播経路特性の積として地震基盤における小地震波形のフーリエ振幅を定め、そのフーリエ振幅を満足するような波形を Boore(1983)の方法で求める。次に、対象港湾におけるサイト特性を考慮し、地表における小地震波形を求める。その際、サイト特性が地震動の振幅と位相の双方に及ぼす影響を考慮する（古和田他，1998）。最後に、小地震波形を重ね合わせることにより（入倉他，1997）、大地震による地震動を評価する。

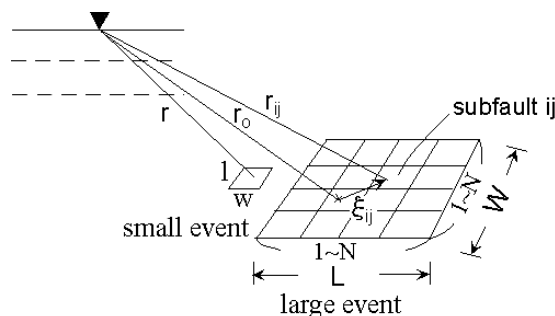


図-1 統計的グリーン関数法

### 3. 高松空港における強震動評価

#### 3.1 震源モデル

高松空港の近傍に位置する活断層として長尾断層帯がある．ここでは長尾断層帯の地震を想定した強震動評価について紹介する．その他，中央構造線断層帯による地震や東南海・南海地震を対象にした検討も行われているが，紙面の都合で省略する．

地震調査研究推進本部（2003）によれば長尾断層帯の長さは約 24km，傾斜は 30°～40°とされている．ここでは，傾斜は平均値 35°を採用した．全断層面積は  $S=624\text{km}^2$ ，地震モーメント  $M_0$  は  $1.48 \times 10^{26}\text{dyne-cm}$  と設定した．対象地震は M7 を越える比較的規模の大きい地震であるが，このような規模の大きい地震の場合，震源は複数のアスペリティによって構成されていることが普通である．そこで，アスペリティの個数は 2 個とし， $S_{a1}=100\text{ km}^2$ （長さ 10km，幅 10km）のアスペリティ 1 と  $S_{a2}=37\text{km}^2$ （長さ 6.1km，幅 6.1km）のアスペリティ 2 を想定した．図-2 にアスペリティの配置を示す．

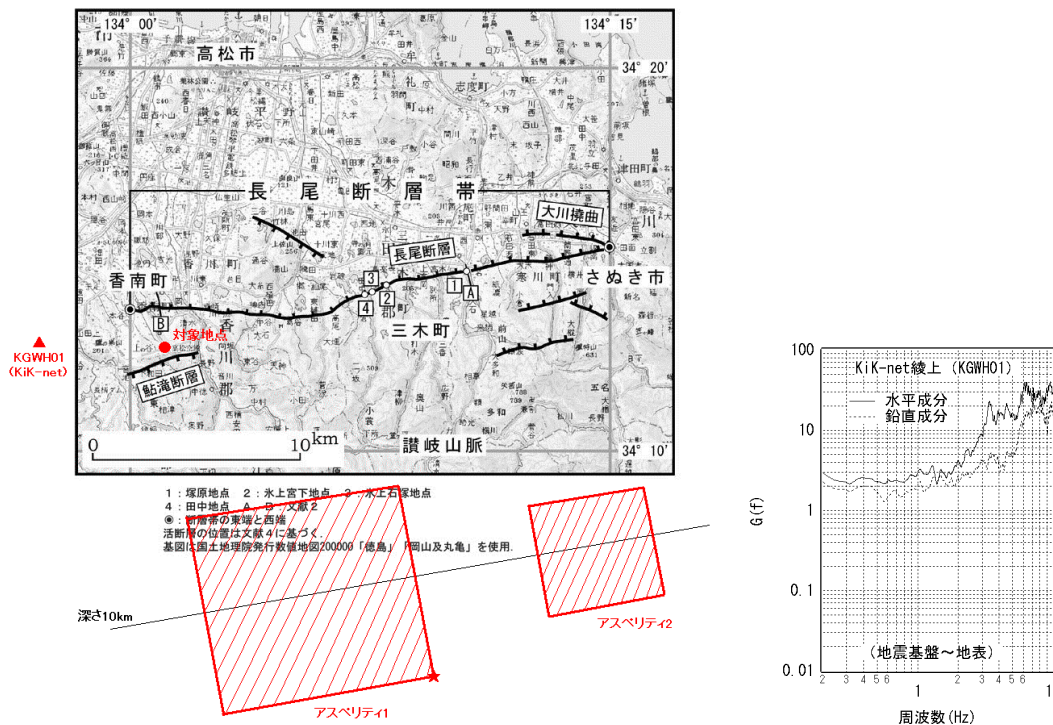


図-2 長尾断層帯の位置と震源モデル（地震調査研究推進本部（2003）の図 2 に加筆）と KGWH01（KiK-net 綾上）におけるサイト増幅特性（地震基盤～地表）

#### 3.2 サイト増幅特性

高松空港では強震観測が実施されていないため，強震記録を利用して対象地点のサイト増幅特性を直接求めることは不可能である．そこで，高松空港周辺の強震観測地点に着目すると，KiK-net の KGWH01（綾上）がある（位置を図-2 に示す）．ここでは，スペクトルインバージョンによりサイト増幅特性が算定されている（図-2）．これをみると，地盤・基礎構造物に対して特に影響の大きい周波数 2Hz 以下では，サイト増幅特性は 2～3 程度の値となっており，KGWH01 は堆積層による地震動の増幅が小さい地点であると言える．KGWH01（KiK-net 綾上）のボーイング柱状図を見ると，地表から強風化花崗岩であり，地表から 34m とかなり浅い位置で S 波速度が約 1800m/s

となる．一方，高松空港の西側（綾川地区）では，微動観測により地表から 75.3m の位置に S 波速度 1800m/s の地層があると推定されている．これは，KiK-net 綾上で地表から 34m の位置にある約 1800m/s の地層と連続するものであると考えられる．以上のことから，ここでは，まず KiK-net 綾上と同様の地盤が高松空港位置に存在したとの仮定で，地表における地震動を評価した．その際，KiK-net 綾上におけるサイト増幅特性を利用した．次に，KiK-net 綾上における速度構造を用い，算定された地震動を S 波速度約 1800m/s の地層の上面まで引き戻し，さらに，綾川地区の速度構造を用い，S 波速度 500m/s の地層（千疋層）の上面における地震動を算定した．

### 3.3 強震動評価結果

長尾断層帯の地震による高松空港西側の千疋層上面（S 波速度 500m/s）における震度は 5.0（震度 5 強）と推定された．これは，内陸活断層の震源近傍における地震動としては，さほど強くない地震動であると言える．こうした地震動が得られたのは，高松空港では花崗岩が比較的浅いところに位置しており，サイト増幅特性が比較的小さいためであると考えられる．算定された加速度波形を図-3 に示す．最大加速度は 200Gal を若干上回る程度である．

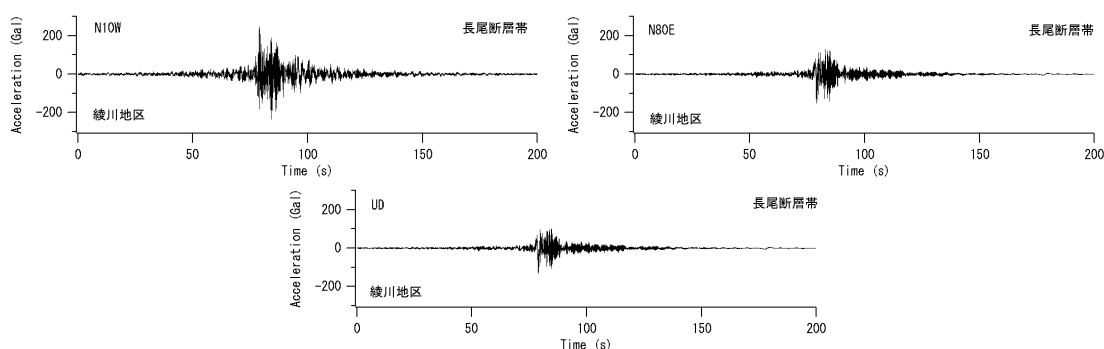


図-3 長尾断層帯の地震に対して算定された高松空港西側の千疋層上面（ $V_s=500\text{m/s}$ ）における地震動

#### 参考文献

- 入倉孝次郎(1996)：阪神大震災を引き起こした強震動，京都大学防災研究所年報，No.39A，pp.229-245．
- 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子（1997）：経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良，日本地震学会講演予稿集，No.2，B25．
- 片岡正次郎・日下部毅明・村越潤・田村敬一：想定地震に基づくレベル2地震動の設定手法に関する研究(2003)，国土技術政策総合研究所研究報告，No.15．
- 古和田明・田居優・岩崎好規・入倉孝次郎(1998)：経験的サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動の強震動評価，日本建築学会構造系論文集，Vol.514，pp.97-104.
- 地震調査研究推進本部（2003）：長尾断層帯の長期評価について．
- 中央防災会議(2002)：東南海・南海地震等に関する専門調査会（第7回）図表集．
- Boore, D.M. (1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, pp.1865-1894, 1983.
- Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seismological Research Letters*, Vol.70, pp.59-80.