

## 重要構造物の建設予定地点における地震観測を推進しよう 港湾空港技術研究所 野津厚

### 1. 設計標準スペクトル v.s. 強震動評価

耐震設計をするとき、まずは、将来の地震による対象地点の揺れがどのようなものになるか、よく考えることから始めなければならない。このように言う「おやっ」と思う人がいるかも知れない。確かに対象施設によっては「設計標準スペクトル」があるから、普通はそれを使って設計しておけば良く、自分の設計している施設に将来どのような地震動が作用するか、考える必要はない。しかし、このことが、後に述べるように、より良い構造形式を選択する機会を設計者から奪っているのである。プロ野球の打者について考えていただきたい。打者は良い打撃をするため相手投手についてビデオを見るなどして熱心に研究するはずである。相手の持ち球によってこちらの対応も変わってくる。耐震設計を行う設計者も同じである。地震動は地球が投げってくるボールである。意識の高い設計者であれば、設計標準スペクトルの有無に関わらず、自分の設計している構造物が将来どのような地震動の作用を受けるか考えずにはいられないし、また、それに対して少しでも有利な構造形式を採用したいと願わずにはいられないはずである。そうした意識の高い設計者が増えることが、筆者の思い描く耐震設計の将来である。社会基盤施設は納税者や利用者の理解の下に整備されるということも考慮する必要がある。多くの納税者や利用者は「東海地震」や「活断層」は知っているが「設計標準スペクトル」は知らない。納税者や利用者が知りたいのは「東海地震」や「活断層で発生する地震」に対して社会基盤施設がどのようなパフォーマンスを示すかであり、「設計標準スペクトル」に対するパフォーマンスには、多くの納税者・利用者は興味がない。以下、本稿では、①強震動評価手法を活用した設計体系に移行していく必要があること、②強震動評価の品質確保のため重要構造物の建設予定地点における地震観測を進める必要があること、以上の二点について議論したい。

### 2. 強震動評価手法を活用した設計体系へ

一般に、地震による地盤の揺れ（地震動）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）、それに地震基盤から地表に至る堆積層の影響（サイト特性）の三者によって決まる（図-1）。なかでも、堆積層の影響の重要性を示す例をここでは紹介したい。それにより、設計標準スペクトルの問題点が自ずと明らかになるからである。

写真-1は鳥取県の境港市とその周辺を東側の上空から撮影したものである（写真は第八管区海上保安本部提供）。この地域にはいくつかの強震観測地点が存在して

いる。境港市の気象庁観測点と港湾の観測点（境港-G）は弓ヶ浜半島の堆積層の上に位置しており、一方、防災科学技術研究所の観測点（SMN001とSMNH10）は島根半島の山麓に位置している。2000年鳥取県西部地震の際、

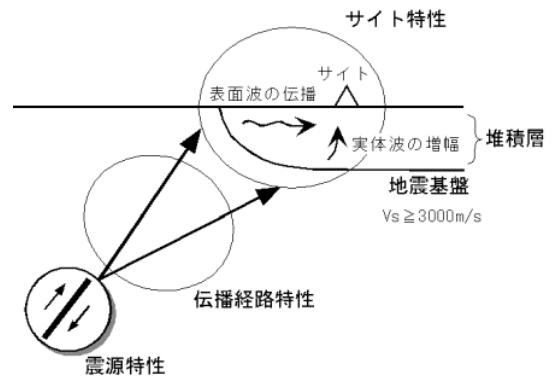


図-1 震源特性・伝播経路特性・サイト特性



写真-1 境港周辺の地形（第八管区海上保安本部提供）

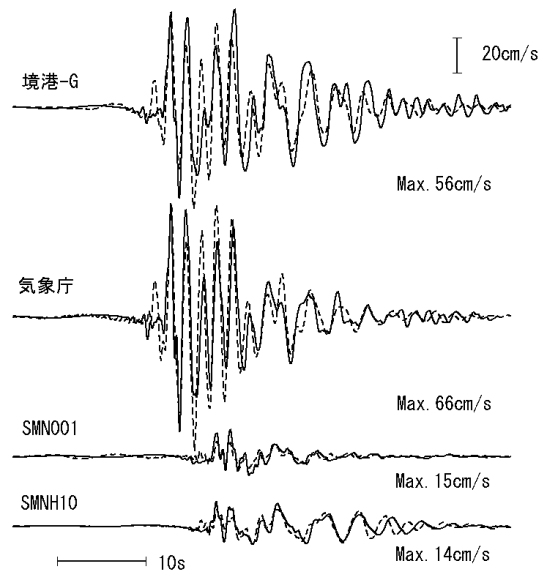


図-2 2000年鳥取県西部地震の際に境港周辺で観測された速度波形（実線、断層直交成分）と経験的グリーン関数法による再現（破線）。

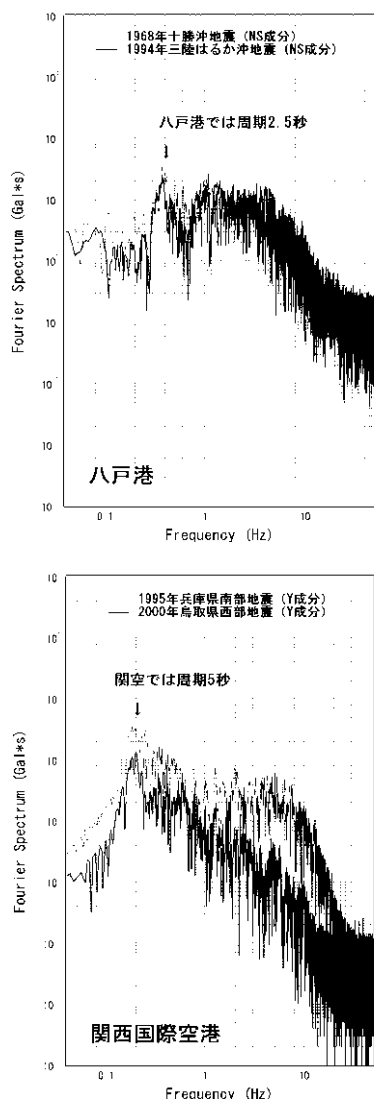


図-3 八戸港と関西国際空港で観測された強震記録のフーリエスペクトルの比較<sup>1)</sup>

これらの地点で得られた記録を見ると（図-2），島根半島の山麓に位置する二つの観測点では最大速度が15cm/s程度であるのに対し，弓ヶ浜半島の堆積層の上に位置する二つの観測点では60cm/s程度であり，実に4倍もの開きがある。4倍の違いは，構造物への入力として見た場合には決定的な違いであると言って良いであろう。このように，地点間の揺れの違いは「設計標準スペクトル」で想定されているものよりもはるかに大きい。「設計標準スペクトル」によらず，地点毎のサイト特性をきちんと把握して，それにより設計入力地震動を設定するような設計体系を導入すれば，揺れにくい場所では今より小さなコストで施設を整備することができ，また，揺れやすい場所では強い揺れに備えて必要な耐震性を備えた施設を整備することができる。全体として，耐震強化のためのコストの最適配分が可能となる。

堆積層が地震動の周期特性に影響を与えることも良く知られている。図-3は八戸港と関西国際空港で得られた

大地震の記録のフーリエスペクトルを比較したものである<sup>1)</sup>。八戸港では1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の強震記録が得られており，26年の時を隔てて発生した2つの大地震で，いずれも周期2.5秒（周波数0.4Hz）の成分が卓越している。一方，関西国際空港では1995年兵庫県南部地震と2000年鳥取県西部地震の記録が得られており，いずれも周期5秒（周波数0.2Hz）の成分が卓越している。このように，特定の場所で特定の周期の地震波が卓越しやすいのはサイト特性によるものである。仮に固有周期5秒の構造物と固有周期2.5秒の構造物があった場合，八戸港では前者が有利，関空では後者が有利である。スペクトルの谷を狙うべきであるとまでは主張しないが，スペクトルの山を外すことは重要である。「設計標準スペクトル」だけに依存していると，このようなことに気付かずに設計が進んでしまうかも知れない。先に，設計標準スペクトルが「より良い構造形式を選択する機会を設計者から奪っている」と書いたのは，このような理由からである。

震源・伝播経路・サイト特性を考慮して，将来の地震による揺れを推定するための様々な方法がこれまで開発されてきている。個々の方法について述べるだけの余裕は無いが，一例として，経験的グリーン関数法により境港市とその周辺における地震動の再現<sup>2)</sup>を行った結果を図-2に示している。これを見ると，各地点における揺れの特徴，とりわけ弓ヶ浜半島と島根半島における振幅の違いが良好に再現されていることがわかる。

将来的には，種々の構造物の耐震設計は，標準スペクトルに基づく方法から，強震動評価に基づく方法へと徐々に移行していくものと考えられる。2007年4月に改訂された新しい港湾の技術基準<sup>1)</sup>はその先例と見ることができる。

### 3. 重要構造物の建設予定地点における地震観測を推進しよう

設計標準スペクトルによる設計体系から，強震動評価に基づく設計体系へと移行していくためには強震動評価の品質確保が何よりも重要である。そのための課題は，震源に関わるもの，サイト特性評価に関わるものなどいくつかあるが，ここでは後者に関連して，重要構造物の建設予定地点での地震観測を推進することを提案したい。今後，耐震設計の世界において，2.で述べたようなパラダイムシフトを実現できるかどうかの鍵はまさにここにあると言っても過言ではない。

重要な土木構造物の建設予定地点は，具体的な設計が始まるより何年も前から決まっていることが普通である。従って，具体的な設計を始める前に，建設予定地点において1～3年程度の地震観測を行うだけの時間的余裕は十分にある。一般に性能の良い地震計は200～300万円程度

あれば購入することができるから、20～30億円程度の規模のプロジェクトであれば、総事業費の1000分の1のコストで地震観測を行うことができる。それにより耐震設計の信頼性が大幅に向上することを考えれば、地震観測はコスト的にも十分に見合うものであると言える。

ここでは、国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所が岩国港で実施したサイト特性評価のための地震観測を紹介する。岩国港では2005年9月下旬に観測を開始し、半年程度観測を行った。図-4は2005年11月22日に鹿児島県で発生した地震（M6.0）、2006年2月1日に愛媛県で発生した地震（M4.5）および2006年3月27日に日向灘で発生した地震（M5.5）に関して、岩国港と、最寄りの既存観測点であるYMG016（K-NET岩国）で取得された記録のフーリエスペクトル（水平2成分のベクトル和）の比をとったものである。この図から、岩国港の強震計設置地点ではYMG016と比較して1Hz程度の成分が増幅されやすく、2Hz程度の成分は増幅されにくいことがわかる。図-4のスペクトル比をYMG016のサイト増幅特性<sup>例えば<sup>4)</sup></sup>に乗じれば、岩国港の強震計設置地点におけるサイト増幅特性を評価することができ、これに基づいて当該地点における強震動評価を行うことができる。

地点における短期間の地震観測を推進する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 2) 野津厚・盛川仁：表層地盤の多重非線形効果を考慮した経験的グリーン関数法，地震2，第55巻，2003年，pp.361-374.
- 3) 沿岸技術研究センター：港湾構造物設計事例集，2007.
- 4) 野津厚・長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料，No.1112，2005年.

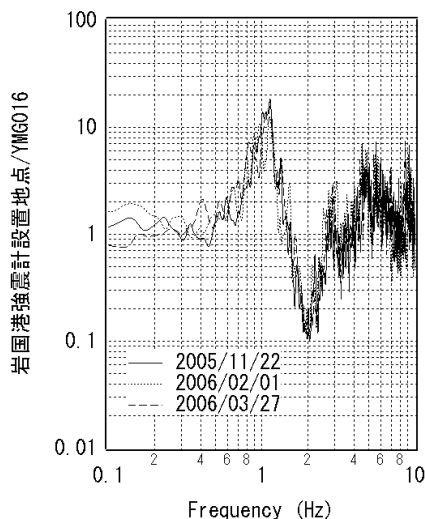


図-4 岩国港とYMG016（K-NET岩国）で同時に取得された記録のフーリエスペクトルの比<sup>3)</sup>

#### 4. まとめ

本稿で筆者が述べたかったのは以下の2点である。

- ①耐震設計では、先ず、将来の地震による対象地点における地盤の揺れを評価することが必要である。設計スペクトルに基づく設計体系から強震動評価に基づく設計体系へと移行していく必要がある。
- ②強震動評価の品質確保のため、重要構造物の建設予定