



代表が、「米国と日本が共通の問題を抱えていることがわかった。」と発言した。表現は紳士的であるが、これには日本の構造物は米国より耐震性が高いと多くの日本の耐震技術者が発言してきたことへの、痛烈な皮肉が込められていると感じた。日本の耐震技術も、地震防災対策も、この反省のうえに再出発すべきと考えた。

以下は、震災発生年の5月にパリの欧州評議会で震災の状況に関する講演を行った際の、ユネスコの旧友のコメントである。「各国の防災関係者の中に大きな戸惑いがあり、日本の地震防災もこの程度ものかという酷評と、日本ですらこの状況であれば地震対策は何をしても絶望的なのではないかという悲観論に、議論が極端に分れる傾向がある。その意味で、何がよくて何が悪かったのかという、正確な情報が重要である。」

これらは震災直後の一時期における断片的な経験であるが、これらの場面の中からは、最新の耐震技術の成果を反映しない膨大なストックを抱える現代の大都市圏の脆弱性という現実根ざす多角面な方策を打ち出すことの必要性、この問題が単に日本のみの課題ではなく、国際的に大きな関心をもって注目されており、適切な国際発信が求められていることなど、現在も変わらぬ命題を提起していると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」、土木学会耐震基準等基本問題検討会議，土木学会誌1996年2月号

2. われわれは何を学んだか

(1) 直下地震による地盤震動の理解

杉戸真太 Masata SUGITO

正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科

兵庫県南部地震以前、都市部を直撃して大被害をもたらした地震は、1891年濃尾地震(M8.0)、1923年関東地震(M7.9)、1948年福井地震(M7.1)であった。このような甚大な地震災害の経験から、非常に大きな応力が解放される“震源断層”の近傍の地盤では、大きな破壊力を持つ地震動となることが定性的には理解されていた。そして、兵庫県南部地震においてはそれを裏付けるような強震記録が得られた。この直下地震によりわれわれが得たもの、学んだものは数多くあるが、地盤震動の観点からは以下の三点が挙げられる。

- [1] 強大な破壊力を秘めた震源近傍での強震記録が、わが国において初めて得られた
- [2] “震源断層”の近傍では、断層の破壊過程を反映した強震動となることが実証された。
- [3] 地表面下数十メートル程度の局所的な地盤条件に加えて、やや深部の基盤構造による影響が大きい場合もあり得ることが認識された

以下、これらの点について筆者なりの意見を述べさせていただきます。

世界的にも第一級の破壊力を持つ強震記録

最大加速度が1g(g:重力加速度)に近いかそれを越える記録は海外では多く例があり¹⁾、また、わが国で

も兵庫県南部地震の二年前の釧路沖地震では0.9gを越える記録が得られたが、被害はそれほどでもなかった。地震動の持つ破壊力は最大加速度だけでは計れないことは、少なくとも地震工学関係者には十分理解されていたと思うが、たとえば、震度法に基づく設計震度と時刻歴波形の最大値との意味の違いが一般には正しく理解されていなかったように思われる。今回の記録を既往の最大加速度の距離減衰式にあてはめたところ特に異常に大きな地震動ではなかった、といったような議論が見受けられたが、最大加速度での評価を中心とした議論では地震動の工学的な本質を見失う危険性がある。

通常の構造物に対する地震動の“破壊力”は、Housner教授によるSI値²⁾や気象庁計測震度を算定する場合の実効加速度³⁾など、特定した周波数帯域のスペクトル強度を包括したようなパラメータにより表現されるのが望ましいが、最大速度でも一次近似的には十分にその役目を担っていると筆者は考えている。

図-1は、これまでに得られた大きな記録の水平成分の最大加速度と最大速度との関係を示したものである。このうち、は、水平2成分のベクトル和の最大値であり、他のデータは原記録から得られたものであることに注意されたい。また、昨年発生したトルコ地震、台湾地震については、現時点で公表されている記録のうち最大

速度が最も大きいものを示した．図中の直線は，正弦波を仮定した場合の最大加速度と最大速度の関係を表しており，各記録の大まかな卓越周波数を知ることができる．これより，これまでの大加速度記録の中でも兵庫県南部地震による記録が比較的低周波数成分が卓越したものであることがわかる．

さて，最大速度が地震動の“破壊力”を表す指標と考えると，今回の記録はこれまでに最大級のものであると言える．あるいは，加速度も速度も大きいという条件，すなわち図の原点からの距離の大きさで見ても第一級クラスのものであることがわかる．

断層の破壊過程を反映した強震動特性

今回の地震で，従来から理論的，経験的に指摘されていた断層の破壊過程を反映した強震動が記録されたこと，それを裏付けるような被害形態や被害分布となったことも特徴の一つであった．すなわち，(1) 断層面上での滑り量の時間変化を表す震源関数に相当する1秒程度の震動が卓越したこと，(2) 断層が横ずれで浅い場合に断層近傍において断層直交方向の震動が卓越すること⁴⁾，また，(3) 断層破壊が進展する方向に位置する地点では地震動のパワーが相対的に集中して地震動強度が大きくなること⁵⁾，が実証された．図-2は，地図に示す強震観測点での水平2成分のベクトル合成波形を用いて，各周波数ごとのパワーが最大となる震動方向を示したものである．断層近傍(kbpi)では，ほとんどの周波数で断層直交方向(N38.4W)に近い方向で卓越していることがわかる．断層の端からやや離れたksok地点では震動卓越方向が周波数によってやや乱れている．さらに遠方(hoka)では，震動に方向依存性がなくなっていることがわかる．一方，破壊の進展方向(北東方向)に位置する地点での地震動強度が大きくなるいわゆるディレクティブリティ効果については，本誌95年9月号⁵⁾に最大加速度について示されている．断層が特定されている場合の強震動予測にこのような断層の破壊過程の影響を考慮する必要性が実証されたことの意義は大きい．

やや深部の基盤構造の地震動への影響

今回の地震で，震度VIIの領域が東西に延びる幅1km程度の帯状に分布した．当初，その直下に伏在断層がありそれが動いた，ということが議論されたが，その後，やや深部の基盤構造⁶⁾による波動の集中現象(フォーカシング)で説明されるようになった⁴⁾．震度VIIの領域での強震記録が得られてないこともあって，説得性の高い結論が得られたとは言えないが，深部基盤構造の影響の可能性が指摘されたことは大きな進展であったと考えられる．

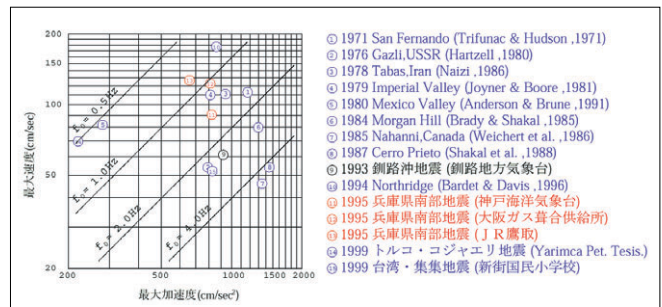


図-1 世界の主な強震記録の最大加速度と最大速度の関係

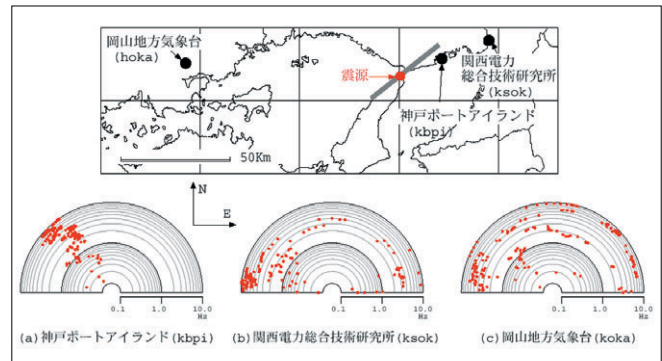


図-2 各周波数成分の震動卓越方向の分布(兵庫県南部地震)

ただし，筆者は震度VIIの領域において必ずしも地震動が最も大きかったと決めつける必要はないとも考えていた．何よりも被災建造物の特性が大きな要因であり，それに加えて局所的な地盤特性，さらに深部基盤構造によるフォーカシング効果等が重なった結果であろう．また，同じ震度VIIの領域といってもこれらの影響度が場所によって異なることも十分考えられる．フォーカシング効果の周波数依存性や詳細な地盤調査を含め，検討の余地が多く残されているように思われる．

限られた紙面ではあるが，今回の直下地震において地盤震動の観点から得られたこと，学んだことについて私見を述べさせて頂いた．周知のとおり，将来の地震に対する強震動予測にはきわめて大きな不確実性が含まれる．強震動に関しては，大地震が起こるたびに依然として学ぶことばかりであり，人知を越えた巨大な自然現象に対して常に謙虚な姿勢で臨まなくてはならないことは言うまでもない．

参考文献

- 1) Ohmachi, T. and Midorikawa, S. : BSSA, Vol.82, No.1, 1992, pp.44-60.
- 2) Housner, G.W. : Proc. of 3rd WCEE, Vol.1, 1965, pp.III-94-109.
- 3) 気象庁告示第4号，平成8年2月15日官報，第1831号.
- 4) Sekiguchi, H., Irikura, K., Iwata, T., Takehi, Y., and Hoshiba, M. : J. Phys. Earth, 44, 1996, pp.473-487.
- 5) 土岐憲三・後藤洋三・江尻譲・澤田純男 : 土木学会誌, pp.32-43, 1995. 9
- 6) 兵庫県 : 「阪神地域活断層調査委員会」資料, 1995