

## (2) 総説 九州地方における地盤と地震

大塚 久哲\*

### 1. はじめに

本稿では、地盤と耐震設計、九州における地震とその危険度、地震動の予測手法、九州における直下地震の特徴について概説する。

### 2. 地盤と耐震設計

構造物を設計する際に行う地盤調査は、周知のようにN値25(粘性土層)あるいは50(砂質土層)程度、せん断弾性波速度300(土木)あるいは400m/s(建築)程度までを対象としており、土質特性がその値に達する深さを工学的基盤と称し、通常はそれより下は調査していない。地盤種別は、これより浅い地盤のせん断振動(1次モード)の固有周期により区別している。したがって、地盤種別として特に九州地方に特殊な区分があるわけではなく、サイトごとの地盤調査により地盤種別を特定して耐震設計を行うことになる。

地上構造物では地表面での観測波形を利用して、設計基準により地盤種別ごとの設計地震力や地震波形を規定しているので、それに従って耐震設計を行えばよい。工学的基盤内やそれに近い地層に設置される基礎・地中構造物において、周辺の地盤との相互作用を考慮して地震時の挙動を解析・設計する場合、工学的基盤やもっと深い地層から地震波を入力して、地盤と構造物を一体的に振動させることが行われるが、そのときには工学的基盤やそれ以深における地震動を規定する必要がある。

鉛直アレー観測によって大深度部における地震動が明らかにされつつあるが、まだ十分な蓄積はなく、任意の地層における地震動の推定にはFEN等による地盤振動解析が必要である。この地盤振動解析に必要な地層の密度、P波速度、S波速度、減衰定数などの情報は、ほとんど未調査と思われるのでサイトごとに調査が必要となるが、それが無理であれば推定式を援用することもできよう。

前述の工学的基盤に対し、地震基盤と称されるものがある。これはせん断波速度が3km/s程度の非常に硬い層を境界と考え、それ以深では地震波が地層の影響を受けずに、ほぼ同じような波形であろうと考えての区分であ

る。理想的には、この地震基盤における地震動を決定しておき、地盤振動解析によって任意点の地震動を作成することが望ましい。

### 3. 九州における地震<sup>1)2)</sup>

地震は、一般にプレート境界型地震と活断層による直下地震の二つが考えられる。

九州において発生するプレート境界型地震には、太平洋プレートの沈み込みにより日向灘において発生する地震がある。これに関して被害の大きな歴史地震がいくつかあるが、19世紀末からに限って拾ってみると(括弧内の数値はマグニチュード)、1899(M=7.1)、1931(M=7.1)、1939(M=6.5)、1941(M=7.2)、1961(M=7.0)、1968(M=7.5)、1970(M=6.7)、1984(M=7.1)、1987(M=6.6)となっており、最近では10数年の周期で発生していること、また2~3年の遅れで同規模の地震が発生する特徴を有していることがわかる。マグニチュードが7を超える大きい地震が多いにもかかわらず、震源が深くて比較的遠いためか、これらの地震で損なわれた人命の累計は資料によれば7名である。

九州の中部地方は中央構造線の西の端に位置し、別府・島原地溝ともよばれ、火山・地震・活断層の三つが揃った珍しい地域である。歴史地震は大分地方に多く、別府湾の沖の浜(瓜生島)が海没したといわれる1596年の豊後の地震をはじめ、1769年の佐伯湾沖の地震、1854年の伊予西部・豊後の地震などの記録が残されている。この地域には活断層は多いが、長さが短いのが特徴である。この地域の北縁に水縄断層が位置し、南縁に日奈久断層・緑川断層・出水断層がある。『日本書紀』に記載のある679年(天武7年)の筑紫地震は、水縄断層系の活動といわれている。

そのほか九州北部には、小倉東断層、福知山断層帯、警固断層などがあるが、中部にある断層も含めてこれまでの活断層調査では、近い将来に発生が危惧される断層はまだ見つかっていないようである。

一方、内陸型の地震では、断層が特定されていない地域にもある程度の規模の地震が発生する。これを如実に示したのが、1997年の鹿児島県西部地震であろう。これ

\*OTSUKA Hisanori 九州大学 大学院 工学研究院 建設デザイン部門 教授 | 福岡市東区箱崎6-10-1

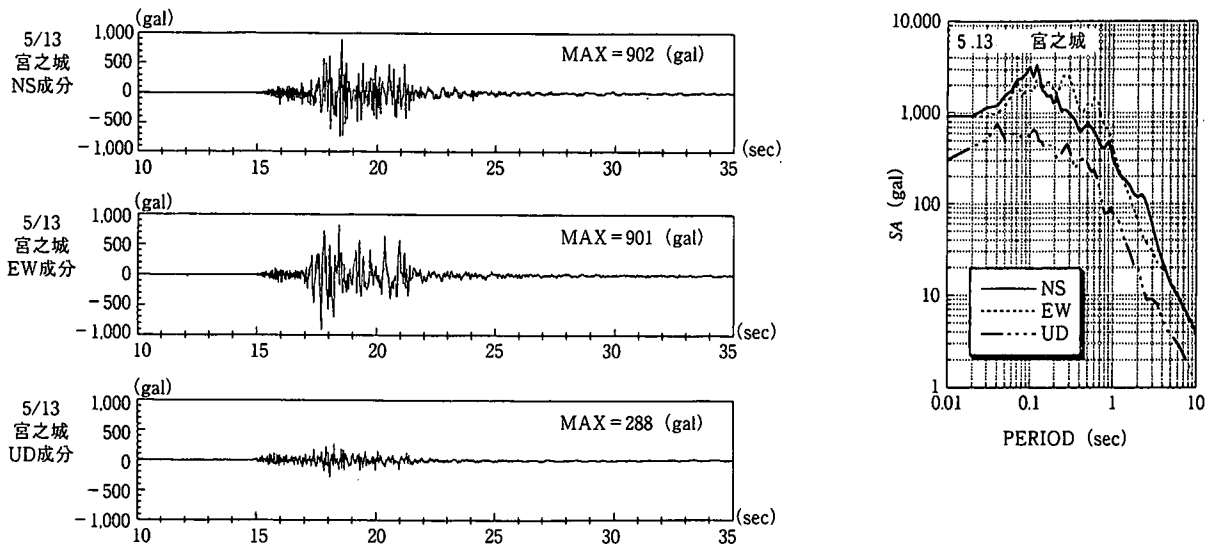


図-1 宮之城における加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル

によりマグニチュード6.5クラスの直下地震は、九州(日本)のどの地域に生じても不思議ではないことが改めて認識されるようになった。したがって、場所のいかんを問わず、最低でもマグニチュード6.5の直下地震に備える必要があるといえる。

#### 4. 地震動の予測

従来、構造物の耐震設計に当って想定地震が決定されれば、震源からの距離に応じて距離減衰式を用いて、最大加速度を予測して耐震設計に利用することが行われていたが、近年、特に兵庫県南部地震以降、動的解析が推奨されてからは、精度のよい時刻歴波形の予測が必要になってきた。

これに伴い、最近では断層モデルから地震動を予測することが行われた。地震動予測にはいくつかの手法があるが、最も厳密であると考えられる手法について、その概要を紹介する<sup>3)</sup>。これには、まず震源、断層パラメータ、破壊パラメータなどの震源特性を決定する必要がある。断層パラメータには走向・傾斜角・長さ・幅・深さ・地震モーメント・断層破壊の起点などがあり、破壊パラメータには破壊速度・破壊モード・時間関数の形状と継続時間などがある。これらを特定したうえで、後は伝播経路に関する情報(伝播速度・地質特性などの伝播特性)とサイト特性が決定されれば、理論的にサイトにおける地震波形を作成することができる。

ただし、過去の地震の震源特性をある程度の精度で求めることができても、将来発生する地震の震源特性を予測することは今のところ不可能であり、パラメータの予測誤差を考慮した確率的な評価を行わざるを得ない現状である。また、震源から地震学的基盤あるいは工学的基盤までの伝播特性が明らかである地域は、関東や近畿地方を除いてはほとんどなく、現在、文科省の補助で各地方での調査が活発に行われている現状である。

一方、当該地点での小地震の波形が得られている場合には、それらを重ね合わせて、マグニチュードが2程度大きい大地震の波形を予測することも可能である<sup>3)</sup>。

いずれにしても、これからは予測地震波形を用いて耐震解析を行い、そこから耐震設計に関する重要な情報を得ることになる。

#### 5. 九州における直下地震の特徴

九州における直下地震を考えるに当って、1997年鹿児島県北西部地震<sup>4)</sup>(震央は鹿児島県阿久根市付近)の特徴を見ていくことは参考になる。まず当該地域は、活断層が地表に現われているような地域ではないが、前述のようにマグニチュード6.3と6.2の直下地震(いずれも深さ8km)が、約1ヵ月半の間隔(3.26および5.13)で立続けに発生した。2回目の地震では、最大加速度も神戸を上回る902galを宮之城で記録した。両地震においては幸い人命に関わる被災は免れたが、被害総額は両地震合わせて232億円余に達し、特に学校建築における被害は甚大であった。また、道路の寸断箇所は両地震で47ヵ所を数え、復旧に1ヵ月以上を要した箇所が数ヵ所あり、地域経済への影響も大きかった。

ここで、両地震で観測された加速度波形<sup>5)</sup>と、その応答加速度の代表的なものを示すと図-1～図-3を得る。図-1に示す宮之城の震央距離は12.6kmと近く、2回目の地震で最大加速度902galを記録している。同地点の道路橋示方書による地盤種別は、I種(地盤の固有周期が0.2秒以下)で、応答加速度のピークはNS成分が0.1秒程度、EW成分が0.3秒程度に現われていることがわかる。応答加速度のピーク値は3,300galを超える非常に大きな値となっている。

一方、図-2に示す川内はII種地盤(同じく0.2秒から0.6秒の間)で、震央距離は20.0kmと比較的近いが、最大加速度は318gal(2回目の地震)と宮之城に比べてかなり小さい。応答加速度のピークはNS成分が0.2秒程度、EW成分が0.7秒程度であり、宮之城の波形よりは長周期側が卓越している。図-3に示す阿久根の震央距離は16.5km、II種地盤であり、1回目の地震で最大加速度293galを記録しているが、波形および応答加速度スペクトルからわかるように、かなり長周期の波となっており、

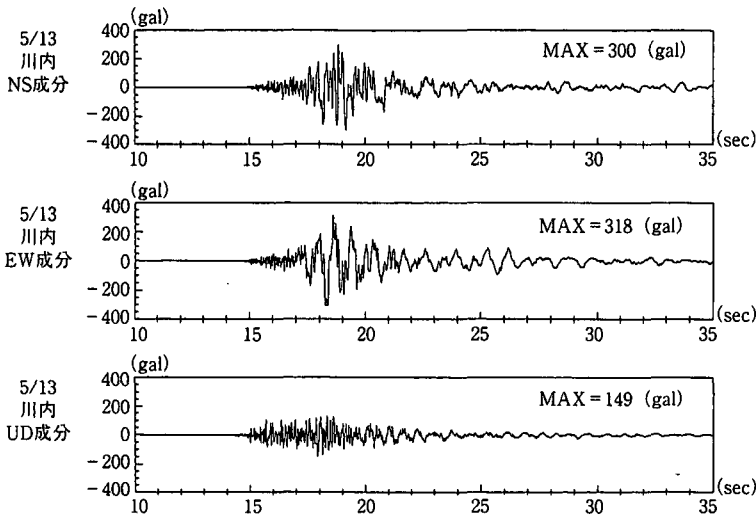


図-2 川内における加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル

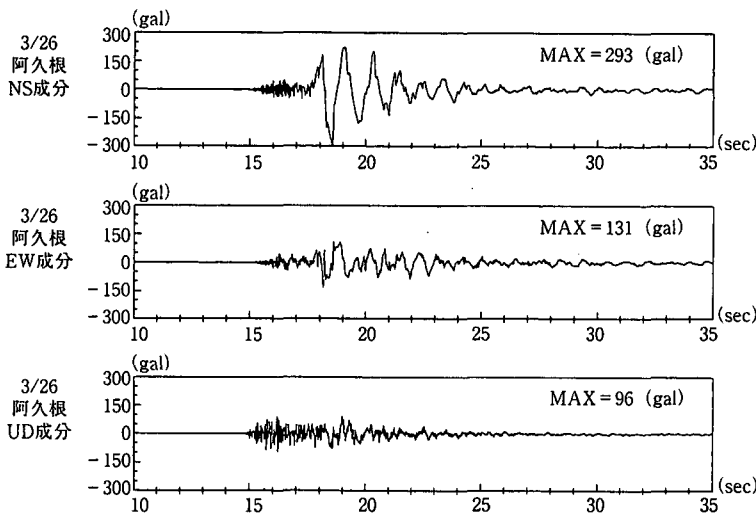


図-3 阿久根における加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル

同地点が液状化したことがうかがい知れる。このように地盤の卓越周期に同調した波形が実際に観測されることから、耐震設計においてはこのことを考慮しておくことが非常に重要である。

また、地震波は減衰しながらも遠くまで伝播していくが、必ずしも距離に比例して震度が小さくなるわけではないことにも注意が必要である。図-4は2回目の地震時の気象庁計測震度のコンター図であるが、震央距離が大きいにもかかわらず、福岡県と佐賀県の県境、大分・熊本・宮崎の3県の境目、および大分県の東部では震度3が観測されており、このような現象は大きな範囲での地層の不整形性(盆地・平野)が原因となることがあるので、そのような地域の耐震設計もそれなりの注意が要求されるといえよう。

## 6. おわりに

1995年の兵庫県南部地震を境に、耐震設計の考え方が変わったといえる。現在、地域における想定地震による推定地震波形を用いた動的耐震設計を目標として、努力が重ねられている現状である。

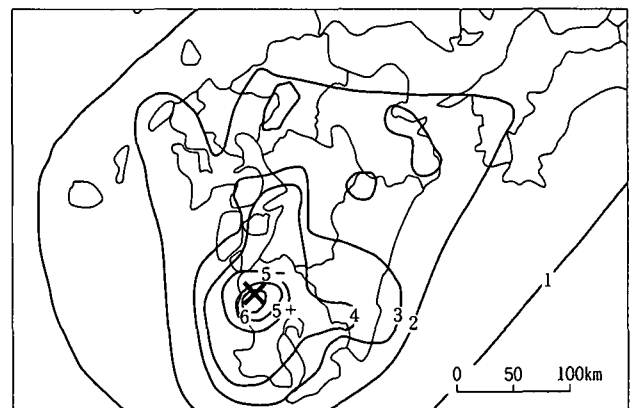


図-4 気象庁による各地の震度階のコンター図(5/13発生分)

### 【参考文献】

- 1) 文科省国立天文台編：理科年表平成14年版。
- 2) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，1996年。
- 3) 大塚久哲，P.G. Somerville，佐藤俊明：断層パラメータの予測誤差を考慮した広帯域地震動の評価，土木学会論文集，No584/I-42，pp.185～200，1998，1。
- 4) 九州大学建設都市工学科建設動工学講座：平成9年(1997年)鹿児島県北西部地震被害調査報告書，平成9年6月。
- 5) 加速度波形は科技庁のk-netによる測定記録である。