

立 地 と 耐 震

吉 川 宗 治

SITE SELECTION AND ASEISMIC CONSIDERATION

By Soji YOSHIKAWA

Synopsis

Sudden development of industry in Japan forced to search new construction site where several problems of aseismic design are involved. Especially in connection with input force no information have been given from the engineering seismological point of view. In this paper, some probable methods are discussed to give aseismic consideration for the new developed sites for construction.

1. 序

強震時の地震波形を明らかにすることは地震工学の立場から必要なことであるが、実際問題としては非常にむずかしい。しかし現実にはいろいろな地点で各種の構造物が建造されねばならない現状では、その時点で最も適正だと考えられる地震波形を想定し、それに見合った耐震設計がなされねばならない。

1969年の初めに筆者はアメリカ合衆国およびフランスの原子力発電所において耐震的考慮がどのような形で実施されているかを見学する機会に恵まれたので、その実例にしたがって、日本で今後どのような観点からエンジニアリングサイスマロジーの諸問題に取り組むべきかについて考察してみたいと思う。

2. 米国における原発の耐震規準

原子力発電所が耐震の見地から非常に重要な構造物であることはいうまでもないが、米国ではすでに10数個所で建設され、その一部は操作されている。筆者が今回見学したのは地震活動のはげしい California 州で1個所、比較的過去に大地震の少なかった東部において3個所である。米国における Seismic Zoning は周知のごとく、

	予想最大加速度	備 考
Zone 3'	50%g	} とくに断層に近い いずれも大被害
Zone 3	33%g	
Zone 2	16%g	中 被 害
Zone 1	8%g	小 被 害

となっている。

発電所名	操作続行可能最大加速度	軽微な被害（放射線災害なし）の最大加速度
San Onofre	25%g	50%g
Rochester	7%（基盤）～8%（地表）g	20%g
Oyster Creek	8%g	
Indian Point	5%g	10%g

上記の発電所のうち、San Onofre は Zone 3 の中にあり、残りの3つは Zone 1 の中にある。また、Rochester, Indian Point はそれぞれ岩盤の上にあるが、San Onofre, Oyster Creek は砂層の上であり、前者の弾性波速度は、 $V_P=488$ m/s, $V_S=233$ m/s, 後者のヤング率 $E=860$ kg/cm² となっている。上記のこ

とからこれらの発電所では seismic zoning に重点をおき、地質構造による最大加速度の差異はつけていないようである。換言すれば軟弱層による加速度振巾の増巾作用は考慮に入れていない。どのような理由からこのような規準がとられたかは明らかでないが、恐らく response spectrum として全部 Housner の提唱したものを使用していることから、入力地震波として短周期の波を考えていないものと推察される。

3. フランスにおける原発の耐震規準

フランスで見学した発電所は Saint Laurent des Eaux 1 箇所であるが、この国における発電所はすべて E.D.F. (フランス電力庁) で統轄され、統一的な耐震規準が設けられている。最大加速度は直接には考えず、改訂メルカリ (M.M.) 震度を過去の地震の被害経験から定め、それに見合った M.M. 震度、たとえば Saint Laurent des Eaux 対しては VII (最大加速度 50~100 gal) と想定している。波形に対しては Housner 型のものを一応考えているようであるが、これと同じような response spectrum を持つ人為地震も合せて考え、耐震設計をしている。筆者が見学した発電所敷地は川の中の島にあった。この島ははじめ小さいものであったが、川の底の砂や粘土を掘り起しそれを埋立土として人工的に島を拡大して造成したものである。したがって地盤は極めて悪く、すでに建設された発電所建屋の年間沈下量は数 10 cm に達すると報告されている。このような軟弱地盤で、その周辺地区と同様な耐震規定でよいかどうかは問題になると思うが、グラウトや圧密等により、地盤改良をし、次の地震時には周辺地区と同様になると考えたのであろう。

4. Seismic Zoning と Microzoning

元来耐震規準はその国の地震活動の実状に応じて定められるべきものであり、上記の米国およびフランスでの規準はそれぞれの国において適当であると考えられたのであろう。すなわち、地震活動が殆んど活断層に付随したものであり、被害区域も比較的明瞭である。またこれ等の区域における建設用地も大陸的でその地下構造の地域的差異は少ない。したがって同じ断層でおこる大地震の発震機構、波の伝ば経路、地盤構造等が繰返して地震波形を同様なものにすると考えても大して間違いはないであろう。それゆえ過去の大地震の際の被害経験あるいは強震記録はそのまま次の予想する地震に対して使用できる。

一般に seismic zoning とは過去の大地震の被害の歴史にもとづいて造られるものであり、米国およびフランスでそれに重点を置いて最大加速度 response spectrum を定めても上記の理由から妥当であると考えられる。一方ソ連では seismic zoning とは別に seismic microzoning が盛んに実施されている。microzoning とはその地点の地質条件を重視して最大加速度を推定する方法で一例をあげると次のようになる。

地 盤	震度係数
花 崗 岩	0.3~0.4
砂 岩 (密)	0.5~0.7
砂 (粗粒)	0.9~1.0
砂 (中粒)	0.9~1.2
砂 (細粒)	1.0~1.3
粘 土	0.9~1.2
ロ ー ム	0.9~1.2
砂質ローム	1.0~1.3
埋 立 地	1.9~2.3
土	2.3~3.0

ここで震度係数1.0の差は最大加速度に直すと2倍になる。したがって2.0の差は4倍になるわけである。したがって良好な地盤で花崗岩上と埋立地盤上では約4倍の最大加速度の差が生じてくる。

5. 日本における Engineering Seismology の問題点

日本においては前記の大陸とは異なり、地震と活断層との関係が明確でない。したがって地震の発震機構を推定する際にもそれぞれの場合によって決定せねばならず、非常にむずかしい。また地震が殆んど全国におこるため、地震のない地域との比較検討ができない。それゆえ、seismic zoning をしても予想震度は略一定の範囲内にあり、上限と下限の差は外国に比較して少ない。また国土がせまく、しかも地質・地盤の場所的变化がはげしく広い範囲にわたって一定の条件の立地をすることは極めて困難である。

最近の産業の急激な発達と共に、昔と著しくことなる立地条件のもとに都市および工業地帯が発達していく現状では従来の seismic zoning が不適当な場合が多くでてくるのも当然の結果である。

一方 microzoning に関しては、とくに最近の地震の被害経験から、論文・報告書には地盤と震害が密接に関係すること述べられているが、現実の耐震規準にどのような形で取入れるべきかはまだ問題があり実施段階にはなっていないようである。microzoning をするためには、地震の被害を受ける構造物も合せて考えねばならず、日本の場合は同じ地域に比較的種々雑多な建物がある現状であり、そのうえ地質の地域的变化がはげしいので、非常に複雑になる。しかし地盤・建物に関して区分けをして考えれば日本の場合でも microzoning は可能であろうし、実際問題として地震被害を左右する重要な素因であるなら実施せねばならない。そのためには従来の seismic zoning から再考する必要も生じてくる。すなわち、過去の大地震で被害を受けたのは都市の立地条件もほぼ一定の規格内にあるものであり、また建物も主として木造であった。したがってそれらの地震災害には類形的なものがあり、それにもとづいて造られた seismic zoning はそれなりに価値のあるものである。しかしそれが現在の耐震設計が要求されている超高層建物や原子力発電所、あるいは埋立地盤上にある工業用諸施設に対してそのまま適用できるかどうかは問題である。その理由は一定の規格内にある都市の木造の建物の被害を推定する際、無意識のうちに仮定している入力地震波形から求められた震央の位置が験震学的に正しいものかどうか疑問があり、異なる構造物には適用されない場合も生じてくるからである。

最近の地震動災害の特徴は、従来のものと比較して比較的新しい型のものが多く、たとえば新潟地震、十勝沖地震の場合には、新開発地域の埋立地盤や新しい型の構造物に被害が集中している傾向があり、seismic zoning の再考と同時に microzoning の必要性を感じさせられる。

6. 今後の問題

一つの地点での強震時の地震波形を合理的に与えることが最終目的であることはいうまでもないが、そのための方法として基盤地震波の究明と軟弱地盤の挙動を研究することがさし当てる急務である。

前者に対しては弾性力学の範囲内ではば議論される事柄であり、その地点での微小地震・中規模地震の観測結果も参考になると思う。最近地震学では地域ごとの地震帯での活動様式や発震機構に法則性があると報告されている。もし地震のマグニチュードの如何にかかわらずこのような事実があるとすると強震時の波形を推定する一つの材料になるかも知れない。実際問題として一つの観測所での地震波形が一定の区域の震源に対しては同様なものになることは験震学的にしばしば立証されている事実である。観測地点での地盤構造が波形におよぼす影響はどの地震に対しても同様と考えられるから、地震の震源における波形と伝ば経路の影響が一定のものであることになる。この事実は深発地震に対しても認められ、地球の深部に対しては地下構造が比較的一様とみなすことができるから、発震地域によって波形が特徴をもつことの一つの有力な証拠になる。また最近の微小地震の研究結果から、一定の地震帯での主応力の方向が大地震の方向と同じであると報告されている。これらの事実から問題となる立地の場所が定まると、その近辺の最大被害を与えると予想される地震帯がきまり、伝ば経路も一定の範囲で推定できるから、前もって微小地震や中規模地震の観測をしておくと、大地震時の波形を推定する材料になることも今後の研究結果により明らかになるかもしれない。

このためには日本中で密度の高い地震観測が必要であることはいうまでもないが、強震観測に関してはとくに従来とはことなり、他の地震観測の結果と比較検討するために初動部分からの記録が必要であり、加速度観測のみならず長周期の波も観測できる速度計・変位計も必要であると思う。

日本においてはまだ基盤における強震記録は満足すべきものがなく、しかも各地域でおこる地震がそれぞれ特徴のあるものであるとすれば、とくに従来被害経験の少ない立地条件での構造物や、新しい形式の建造物に対しては、まず第1に基盤地震波に対して慎重に考えねばならない。また逆に或る地点での予想される建物の種類がわかると、それに危険な周波数範囲の地震波を重点的に観測する方法もあると思う。

つぎの段階として地表層とくに軟弱地盤の地震時における挙動を明らかにする必要がある。これに関連した研究は弱震に対してはかなり進んでいる。すなわち地表近くの各層の弾性定数が物理探査で求められ、これらの定数を用いて理論的に重複反射の理論で求められたスペクトルと実験的に弱震の観測結果を整理してえられたスペクトルがかなりよく一致することが確かめられている。しかし強震時に軟弱地盤がどのような挙動をするかについては観測例は少なく、また理論的にも明確にはなっていない。大地震時には波動の振巾が大きくなり、地表近くの軟弱層を形成する物質の弾性限界をこえ、つぎつぎと破壊されてゆくことも考えられ、その中を伝ってくる波に対しては様相がかなり複雑になってくると想定される。それゆえその地点での基盤地震波と軟弱層の影響を受けた波との比較観測がなければ、実際問題として実験的に究明することはむずかしい。もちろんこのような機会は非常に少ないことが予想されるから、この結果と弱震時の観測結果との間に因果関係があり、それが明らかになると平常時の地震観測結果から、大地震時の軟弱地盤の挙動を推定する材料をうることもできるかも知れない。

現在の日本における強震観測はいろいろの理由から、巨大構造物に設置して行なわれることが多く、たとえ強震記録がとれても、それから軟弱地盤の影響や基盤地震波の波形を推定することは至難の事業である。その理由はそれらの記録は構造物自体の振動・地盤との連成振動・表層地盤の影響・基盤地震波の波形等が合成されたものであり、強震記録から各々の要素を抽出することは不可能に近い。したがって既述のように基盤地震波と軟弱地盤の影響を分離できるような観測態勢をもつ必要がある。このためにはかなり地下深所に強震計を設置せねばならないし、多点観測も必要になる。また現在の強震観測は主として地震波の初動部分をトリガーとして主要動を記録する装置になっているが、記録をより普遍的にするためには好ましい方法でない。少ない強震記録からその地点での予想される一般的な記録を推定するためには、その地震の平常時における微小地震や弱震・中弱との関係が明らかになった方がよい。したがって発震機構を知るための初動や初期微動継続時間、種々の地震波の位相を究明し、近辺の地震帯での位置づけをして置くのが望ましい。

最近日本の各所に建造され、また予定されている従来とことなる構造物、たとえば超高層建物や長大橋に対しては基盤のみならず、地盤上で長周期の波の有無については観測例がない。現在の強震観測は主として加速度計によっているから、実際強震がとれても検出されない。しかしこれらの構造物の固有周期の長いことから、長周期の地震波に対して危険であり、速度計や変位計で観測する必要がある。

一般に立地は社会的・経済的要素によって支配され、耐震的考慮がそれにとまって実施される場合が多い。日本では地質の局所的変化や、地震の地域的特性がはげしいから、当初の予定地域内でも耐震設計が経済的になされる可能性もある。そのためには地震の地域的特性や地盤の局所的性質に対して充分吟味することができる資料の集積があれば合理的な耐震計画も実施できるであろう。