

第9回 松代地震センター談話会発表記録

1. 日 時：昭和43年6月20日
2. 場 所：松代地震センター
3. 発表題目：地震による建物の被害について
4. 発表者：東京大学地震研究所 大沢 胖

昔から、地震による被害が調査・研究されているが、建物の被害は地震の性質・地盤の性質、それから建物自体の性質の掛け合わせたようなものとして、互いの関連性によって説明されてきた。

例えば、地盤が非常に悪い所では、地震による建物の震動がそれほど大きくなくても、不等沈下などによって非常に被害が起こる、ということもある程度統計的に調べられてきている。また地盤そのものによって、そういう不等沈下ではなく、同じ地震でほぼ同じような所でも地盤の違いで大分揺れ方が違う、というようなこともいろいろ言われてきている。その辺を詳しく申し上げることもないので、ここではごく簡単に地盤もひっくるめて、とにかく地震の時に建物のすぐ下がどんなふう揺れるか、ということを中心に「建物の下の動き」と言ってしまうことにして話を進めたいと思う。

建物にもいろいろあって、木で造ったものもあれば鉄骨のものや鉄筋コンクリートもある。最近ではいろいろ新しい材料が出てきた。ご存知のようにコンクリートブロックを使ったり、プリストレスコンクリートのようなものも出てきている。それぞれの構造によって性質が違っているが、振動的な性質、つまり固有周期がどうか、減衰の性質がどうか、といったことがいろいろあり、それと地震の方の周期特性とか、どのくらい長く続くかといったものとの関係で、いろいろな被害が出てくると考えられる。ただし、被害の相当の部分がこういう単なる動的な性質だけではなく、地盤の不等沈下とかいった、ある程度数式にのせられるようなものとは別なものであることも確かである。

最近では建物の設計をする場合、ほとんどいわゆる「耐震設計」をしている。もちろん、今度被害を受けた鉄筋コンクリートの建物も、こういう耐震設計、地震を考えた設計になっている。大体土木も建築も同じようなものであって、建物の方では横方向に力をかけて設計している。これはスタティック(静的)なものでありダイナミックなものではない。ただダイナミックというか、地盤と建物の種類との関係をいろいろ考えたり、それから地震の程度というか、今まで地震が沢山起こっているか、それほど起こっていないとかいった、地域による区別を多少加味したりしてやっているが、とにかく大体基本になる数は建物の重さ W の2割。この数は多少増減するが、2割の力をかけてその時に梁・柱・骨組みに起こる応力に耐えるような設計をしている。

一方、建物のこういういろいろの種類に応じたいろいろな動的な性質が分かり、それから地震の方の波の形が分かると、最近の学問によりそういう地震が来た時に建物がどう揺れ、どういう所にどんな変形が生じ、どんな応力が起こるか、というようなことがかなり詳しく計算できるようになった。もちろんこれは程度の問題であり、どんな複雑な建物でも簡単に計算できるということではない。

地震動の波形が採れた例もそう沢山はないし、大地震の時に必ずそのような波がとれているとは限らないので、この対応がなかなか難しい事は確かだけれども、ある程度の仮定を設けると、まあ最近の地震の被害を「大体こんなものだろう」と解釈する程度の解析はできるようになってきたと言えよう。

今度の1968年十勝沖地震では、耐震設計された鉄筋コンクリート造りに相当の被害が出ており、そういった解析が今いろいろな方面で進められている。もちろん、これはそういう計算だけではなくて、

材料の性質を調べたりしなければならぬので、そういった方面も合わせていろいろ研究が進められている訳で、結論はまだ出ていないが、だんだんその成果が発表されていくことだろう。

今日お話できるのは、今までのいろいろな実験とか地震動波形を解析した結果などから、どのような具合に壊れていったのだろうか、どういう点が問題だったのだろうか、といった推測をする程度にとどまる。

松代地震の時、私どもが非常に問題とした一つは、いろいろ採れた地震の加速度がかなり大きなものだったということ、例えば加速度の最大値で0.3G、あるいは0.4Gぐらいのものまであった点である。そうすると、例えば耐震設計の場合の2割、すなわち0.2という数字を出したが、もしこれが剛体で加速度0.2Gの地面の動きがあれば、ちょうどこれと同じだけの力、すなわち重さ×0.2の力が加わることになる。上部がもっと大きく揺れると当然0.2で計算したのではもたないことになる。木造は必ずしも0.2ということで計算されている訳ではないけれども、ともかく何かこういう重量の何割という関係で表わせるとすると、0.3～0.4Gという大きな加速度の地震動がきて、なおかつあまり被害が起らなかったのはなぜか、これが一つの疑問となる。

これはここだけの問題ではなくて、何年か前に北海道の釧路の広尾沖地震の時にやはり0.38Gの最大加速度の波が記録されたが、釧路あたりでは木造の建物の被害がほとんどない。私自身がすぐに被害を見に行った訳ではないので、多少の被害はあったかも知れないが、ともかく家が傾いたり倒れたりということにはなかった。そういったことで、もともとそういう疑問を持っていたので、この機会になんとかしたいと考えた。

そこで若穂町(現在は長野市内)でちょうど取り壊しをされる家、ほとんど被害は受けていないけれど、古しい改築したいというのがあったので、お願いして実験をさせていただくことになった。それが一昨年のもので、その付近で割合大きな地震の記録がとれていたもので、木造ではあるけれども、建物としての周期とかいったことを調べることにした。

地震動の記録の採れた場所からは1 km ぐらい離れているが、その記録の地震の波がきたとしたらこれはどのぐらい動くか、というようなことを調べてみた訳である。現在の現物実験でいろいろ不便があり完全な実験とは言えないが、主に水平方向に引っぱってその時の各部の変形とか障子がどのぐらいの変形の時に切れるかといったことを若干調べてみた。

簡単に言うと、木造はかなりの変形量にならないと壊れないし、倒れない。あの辺の建物が特にそうなのかも知れないけれども、意外に復元力を持っている。平屋に横から力を加えて、下と上との変形の差が大体10 cm 以上になっても、潰れるとか柱がひどく折れることはなかった。15 cm ぐらいまで引っぱったが割合に元に戻る。5 cm か6 cm だと戻りがよくて、1 cm 程度しか残らないことが分かった。

この家を簡単な力学上の振動系モデルにした。重さとバネを持つ1質点系であるが、特に非線形のパネを考えた。これで勘定すると、その付近で採れたような地震動程度ではそれほど大きな変形にはならないで、壊れないのが当たり前という結果が出た。

これに関連して、こういうことを言われたことがある。「あの地震が非常に長く続いたものだから、途中で地震対策上古い家に筋交いを入れて補強している。そういった筋交いを入れたりして固めた家や壁のある新しい家が意外に地震の被害が多かった。新しい家は始めからだが、古い家に筋交いを入れて固めたら被害が大きくなった。」というようなこともちょっとうかがった。それは固めるとかえって被害が大きくなる、ということになるが、そのことはここで行った解析からもある程度出てきた。それでもなおかつ私どもの立場としては、やはり例えば筋交いのようなものを入れた方が良く、と思う。というのは、今までそれぐらいのところでおさまっていたからいいが、もしこれと同じぐらいの振動が長く続

くとか、もう一段大きいのが来るとかいうことになると、筋交いのないものよりもちょっと被害が目立つようだけれども、もう少し大きくなったり長く続いたりしても筋交いは壊れるかも知れないけれども、家全体は安全だ。半分推論が入るけれども、そのような結論になった訳である。

実験の初めのうちは、松代地震の時のように板戸が外れた。こういうものが外れる時の変形は、もちろん周りのものの関係で随分違い、相当幅はあるけれども、大体数 cm 前後の相対変形がないとこんなかっこうにはならない。また、瓦の落ちた例がある。昔からよく「瓦が落ちるのは短周期で加速度が大きい」と言われている。先程のような板戸が外れたり、障子紙にひびが入ったりするのは、変形量が大きいと言われている。松代の地震ではその両方があっちこちにあって、その整理がちょっとできていないが、どうもその両方の被害があるようだ。これなどは加速度の大きかった方の例である。この写真の場合は、たしか障子が破れるとか襖が外れるとかいうことはほとんどなかったと思う。

この写真は分かりにくいけれども、ブロックの壁(塀)が倒れたものである。ブロックの壁は数年前から地震の被害として出ており、私が気がついた最初は、昭和 38 年の宮城県北部地震の時に、ブロック壁の倒壊で死者が 1 人あり、たしか負傷者も出た。その後、新潟地震その他でかなり死傷者が出ている。ブロックの壁は素人でも簡単にできるので完全な施工がなかなか望めない。全体が倒れてしまったり、あるいは鉄筋が入っていても十分に下のコンクリートに繋がってなくて、継目から倒れてしまったりしている。それからモルタルがこのようになっている。これは普通の方がおやりになる場合には十分にはいかない。

この写真は長野県の中学校で煙突の倒れたもの。こういう具合に、筋交いの入った非常にがっちりした家だが、壁の落ちる被害が非常に目立っている。こういうものがなくて、しかも土壁で周りが少しすいているような家は、多少揺れてもこのように落ちることはない。この辺が多少がさがさしてもあまり目立たない。そういう意味での見た目の被害もあったかと思う。

これは土蔵、これはタイル、壁がこういう具合にじぐぎぐに落ちる。これが先程言った若穂町にあった家で、今は取り壊されて新しい家になっている。試験建物で私どもが見て、この辺の典型的な農家の造りだと思った。これを手前の方向へ、梁の桁のところにロープをかけて、向こう側の端からロープをかけて、こちら側に引っ張った。いっぺんにまとめて引っ張るのがなかなか難しいので 3 点ぐらいで引っ張った。引っ張って離して、自由に揺らせて、周期をみるとか減衰の状況をみるとか、あるいはそのままずっと引っ張って元へ戻してどのくらい変形が残っているかをみるとか、そういった実験をした。

プランは部屋が 4 つ「田」の字形になっている。これが土間、ここにご隠居さんの部屋があった。これは縁側。こちらの方向に引っ張った。断面はこういう具合になっている。実験ではスタティックの変形とか、あるいはドラムをつけて自由振動の具合がどうかを調べた。骨組みがこの方向にいくつか並んでいるが、やはり木造家屋であるため水平方向に平行移動はしないで、引っ張るとそこだけがほとんど独立に変形する。結局、場所によってたわみ方が違うということになる。1,3,7 の三箇所を測ったが、始めのうちはそれぞれで変形量が違う。端っこの方には壁がついているけれども、真ん中はほとんど壁がなくて骨組みだけなので、こういう具合に変形が大きくなる。同じ荷重でも変形が大きくなって、先程述べたように戻りは割合よくて、この辺ではこの程度まで戻る。半分以上は 5 cm くらいきたところでも戻る。こちらはもっと戻りがいい。だからほとんど 2~3 割くらいまで戻る。その次に荷重を増やしていくと、真ん中はこういう具合に沢山たわむが、これも思ったより戻りがよい。ここからスタートしているから 10 cm、始めからだとも 15 cm、こういうふうに傾いて、そしてここからだとも 4 cm の所まで戻る。この状態では大丈夫という訳にはいかないが、元に戻った状態でみると、それほどひどく傷んではない。今の力と変形の間接関係。こういう具合に垂直の面なり水平の方向で行うと、このように真

ん中辺が出っ張って両端はあまり変形しない。

中の障子などはどんな具合になるか。5 cm くらいの変形の際に障子紙の破れが出てきた。こういう破れ具合と変形との互いの関係をずっと調べておく。もちろん、実際の被害はこういったものが起こってまた元に戻ってしまった状態になっているから、それがどの辺まで変形したかを、これと変形量との関係から大まかに推定する。ものによって始めの状態での隙間が違うからおおまかになるけれども調べた。

固有周期は、真ん中辺が出っ張って変なふうに揺れるものだからなかなか難しいけれども、大体先程述べたようにバネとますというようなもので置き換えられるとすると、こういうものの周期は振幅が大きくなるとだいぶ変わってはくるが、大体 0.6 秒からせいぜい 0.9 秒ぐらいまでの間になる。点が沢山あるのは、沢山行ったという訳ではなくて、いっぺんやるとだんだん振幅が減るから、その途中でプロットしている。実際の実験は 2～3 回だけしか行ってない。

ごく簡単に今の変形量が、どういう周期のものにどのくらいの地震でどのくらい現れるか、ということ調べるために変形のスペクトルをかいた。私どもの分野では「レスポンス・スペクトル」と言っているが、要するに地震のこういう加速度を、一質点振動系の基礎のところに与えると、この質量とバネとの関係で周期が決まってくるが、その周期と減衰の様子とで、まずこういうモデルが一つ決まると、そこに与えた加速度で起こるもの、例えば今の場合、質点と基礎との相対変形を調べる。こういうふうに揺れると基礎の方が動く訳で、基礎に対する質点の関係、この場合でいえば屋根の基礎に対する変形量を縦軸にとる。その場合地動による応答波形の最大値だけをとる。最大値だけをとるのは最近また問題になっているけれども、ともかくこれは最大値だけをとる。横軸には建物の固有周期をとる。例えば固有周期 1 秒で減衰が 0.05 とすると 11 cm というような数字が出てくる。同じように周期を変えて同じ減衰でプロットしてある。それから減衰を変えて点線のように出てくる。だからこれはいろんな周期の建物と思えばいい。減衰の方は、さっき出ていなかったが、鉄筋コンクリートだと 0.05 前後、木造では 0.1～0.2 ぐらいといわれている。そういったつもりでこれを眺めると、先程の建物で固有周期 0.6 秒ぐらいのものだと 10 cm 以内ぐらいが地震の間に起こる最大の変形となる。スタティックだからダイナミックとは多少違うけれども、こうやって 10 cm ぐらい変形しても 2～3 cm のところまで戻る。

この図はこの建物から約 1 km 離れた所で採れた地震。一昨年 4 月 5 日に採れた地震の記録を使って計算したレスポンス・スペクトルである。それだと、大体この辺で 10 cm 足らずぐらいの最大変形になっているらしい。だから、障子が破れたりなどすることは、このくらいの周期のものだとあり得る。しかし大被害は起こらない。もし、周期が非常に短いものだと力としてはかなり入ってくるけれども、変形量はぐっと小さくなるので障子はあまり破れない。したがって、割合最近の筋交いの沢山入った建物は大体 0.2 秒とかせいぜい 0.3 秒ぐらいなので、変形量が非常に小さくて障子が破れたり襖が外れたりすることはないかわりに、加速度がかなり大きくなってきてるので壁が落ちたり屋根瓦が落ちたりする。そういったことはこのグラフからも説明できる。

これはまた違った地震で、やはり若穂町で今年の 8 月 3 日にあったもの。これは縦軸が前とは違っているが、いずれにしても 20, 40, 60 cm とだいぶ大きい値を示す。

今度は、この辺の周期の長いところでこんなに大きくなっている。これは波を見ても一見なんとなく長い波があとの方に含まれたような形になっている。これは、後の十勝沖地震の話ともちょっと関連があるが、さっき短周期のところでお見せしたように、始めは 1 cm 以内というあまり振幅の大きくない範囲だが、とにかく周期がだんだん変わっていく。あれが 5 cm, 10 cm となると、大きく揺れた時の周期はまたかなり長い方へ変わる。おそらく 1 秒以上になるだろう。

あの試験建物ではなくて、他の建物でやった実験例だと1.5秒とか2秒近くまでいくらしい。そうすると、これは最大値だけ書いてあるのですぐに1対1で処理する訳にはいかないが、とにかくこの辺のものが始めのショックで大きく揺られて、部分的に多少壊れたりして周期が伸びたとすると、そのあとの方でもしこういう大きな変形を伴うような波がきているのなら、変形量としては10 cm以上という大変なものになってしまう。こういうものでは、おそらく相当倒壊するのが出ただろう。この地震の時は、実際にはそれほど倒れていない。ただその周期は測ってないが、ふらふらの納屋のようなものが2～3戸倒れたと聞いている。その周期はおそらくこの辺の長いところらしい。どうもふらふらのものは大きな振幅になって潰れてしまう。周期の短いものはまあまあそんなにひどい被害にならずにすんだ。そのような解釈ができる。

これはまた地震が違いうけれども、えびの地震では、建物の周期はこの辺にきている。極端に壁の少ない建物ばかりで、かなり長いところに周期があるので変形量として非常に大きい。あの辺の地震もこういった感じとすれば変形量がかなり大きくなる。あの場合、倒壊家屋が沢山出ているのはそういう関係ではなかろうかと思う。さっき言ったように建物の周期がいろいろ変わるといのは、もう少しうまいモデルを作ればいいのだけれども、簡単のためにとにかくこのバネの戻しが、あるところまではリニアに力と変形とが比例していくが、あるところからは横に折れてしまう。つまり我々が「降伏」と言っている点で、この辺まで来てもし速度がゼロになれば、これに平行にこちらに変わってくる。こういうループを描くような特性を考えて、それで同じような計算をしてみた。

これは先程の8月3日の地震だが、加速度の最大値が0.25Gになっている。その場合、減衰は0.1におさえた。一般にブレース（筋交い）が入っていない壁が多少ある程度の家は、かなり耐力が低く、力と変形の関係で見ると早く折れ曲がる。つまり「降伏」してしまう。建物の重さの2割の力で降伏してしまうもの、1割のもの、3割のものなど考えられる。先程述べたように、普通の建物は2割で「降伏」する。この「降伏点」が0.1、0.2、0.3の3種類を考え、横軸に弾性範囲の時の周期を、縦軸に変形量をとるとこういう具合になる。すなわち「降伏点」が0.1のものは変形量がかなり大きくなり、0.2、0.3の場合の2倍といったような大きな変形が生ずる。木造建物が最後に潰れるという時は、もう変形量で決まるようなものなので、こういうものはやはり相当危ないと言える。0.2、0.3の耐力があれば、まあそんなに悪くはない。

松代の実験に関しては以上のような形であるが、もちろんああいうスペクトルを描く場合に、地震の震動の方の性質でいろいろ変わってくることも確かである。今度の十勝沖地震の記録から、地震動の性質と被害が密接に関係していることが改めて痛感されている。

ここでちょっと話を変えて、今年の2月に起こったえびの地震について述べたい。これはごく大まかにかいた被害の状況で、大体えびの町は3つの町が合併しており、一番西側の元真幸町の辺りだけが被害が非常に大きかった。木造の建物がほとんどだったので、被害の方もほとんどが木造ばかりで、鉄筋コンクリートの建物は直接見ていないものや吉松町のも入れると4棟から5棟あり、多少の被害にとまどっている。木造はご覧になるように、全半壊率すなわち全壊プラス2分の1半壊を全戸数で割ったもので、92%・69%とかかなり高い被害率を示している。

この中にある鉄筋コンクリートの建物は3つだったと思うが、そのうちの一つは学校で、直接見ていないけれども、ちょうど十勝沖地震の時の被害とやや似た傾向のように思われる。ただし、被害の程度は非常に軽い。これに注目して、今いろいろ図面を調べている。あとの2棟はほとんど被害がない。その内の1棟は少しひびが入った程度、もう一つは、基礎やブロックの建物との継目あたりとかには

少し被害があったけれども、建物全体としてはたいした被害ではない。

ブロック造りはいくつか被害を受けていた。私どもは少し詳しく調べようと思って、余震の観測、余震といってもあそこも群発地震だから、余震というより群発観測だが、いろいろとりかかっていたが、その途中で十勝沖地震が起こり、そちらに精力を向けるようなことになり、まだあまりまとまった結果が出ていない。

これはかなり家が揺られて壊れた例で、前はブロックの壁だが、一方が少し高くなっていてある程度この土で押された例だったかと思う。これからあとは新聞にも報道されたと思うが、稗田地区というちょうどシラス台地にかかったところで、その小高い丘の上に立っている建物群が2、3被害にあった。こちらが少し高い所の丘の上に立っている。こちらは地すべりで足元の土が崩れた。ここは全部下がり、こちらに開いている。このような家がほとんど全部全壊で非常に惨状を呈している。

高台の所にあった家が20 m ぐらい落っこちた。たしか死傷者は出なくてすんだと思う。ここでは3回激しい地震があって、このようになったのは2回目の時だったと思う。これはたしか1回目の地震で避難していたので、住んでいた人は助かった例だと思う。

この辺りはとにかく瓦が重くて、そして壁がほとんどないので、耐震的には非常に弱い構造になっている。同じ木造でも日本の北と南では造りが非常に違っており、地震に対する耐力からいうと、南のえびの辺りは十勝沖地震の被害地域の北海道—東北と比べて半部以下、3分の1 ぐらいの耐力しかない。この写真は、普通のあの辺の民家である。

これもこのように黒く書いてあるが、板壁になっているのが多い。ここ辺りは腰壁だけ。セクションを見ると、こういう具合に高床式というか床がかなり上がっていて、束石で短い柱になっている。こういう所が少し傾いてしまっている例もある。柱梁だけだからその接合部がひどく傷んでいる。一つだけ非常にかっちりした建物があって、周りの家が大傾斜したり倒れてしまっている中に、その1軒だけなんともなかった。ご覧の通り壁が非常に沢山入っている。新しい家だが、全然びくともしていない。この家の瓦は割合重いけれども、耐力が非常に高い。

ブロック造りで2～3軒、被害の非常に大きかった例がある。これは吉松町の北の境で鶴丸だったと思う。コンクリートの「がりよう」というものを置くのが普通で、がりようとコンクリートの屋根で一体にすることが耐震的に非常に大事だと我々は言っている。

この例ではこういうものとブロックから出ている鉄筋との間が非常に弱かったようだ。これは鹿児島大学で非常に詳細に調べて下さったものだが、やはり工法上も施工上もかなり問題があるとのことである。

これはちょっと見にくくて恐縮だが、車の車庫が完全に潰れてしまった例である。工法上、施工上の問題があるようだ。

これもわかりにくくて恐縮だが、鉄筋コンクリートの建物で、ここに今見えているのが鉄筋コンクリート造りの2階の地下1階だったと思う。それに、これに直角にブロックの平屋1階建ての棟が続いている。それらの継目の所がやられた。一方には地階がない。どうしてもこの継目の所は工事で土をどけてしまい、後から盛るからこの辺の土は非常に荒らされている。こういう種類の被害は、今までにもいろいろある。ここは床の面。何回も続いている地震でだんだん落ちたそうだが、この段階で10 cm 以上くい違っていた。もう一方の建物は地階まで壊れている。2階も非常にやられている。

ここでまた話が違って、先月16日にあった十勝沖地震の被害の写真をお見せしたい。皆さん、新聞その他でいろいろご覧になったと思う。調査の順序として八戸から始まり北へ行き、最後は函館まで

行った。

これは八戸の市庁舎の建物で、全景がないが、3階建ての鉄筋コンクリートの建物で、それに5階の塔がある。塔の一番上が落ちてしまった。一番ひどい被害を受けた頂上の1階分は展望台みたいになっている。柱と梁と屋根と床のコンクリート板だけでできている。柱の上部の梁との継目が切れて、梁と屋根が一緒になって下に落ちてきた。

これはどういうふうに解釈するかということだが、このこと自体は今まで2・3研究があり、こういう割合大きな重量のものに細長い塔のようなものを建てると、その上は非常に揺られる。もちろん地震動の性質にもよるが、非常に揺られることはいろいろな計算の例が出ている。ただ、普通は階段やエレベーターの機械室とか、ずっと上に突き出している所では大体が壁でできている。強い力がきてもみな壁で力を受持ってしまう。壁が耐えることができるので、あまり問題にしていなかった。たまたまこういう柱と梁だけのものはあまり考えていなかった。とって無責任だが、一番上が柱梁だけだったために、耐力としてはあまりない。それが非常に大きな力を受けたために壊れたのであろう、と我々は想像している。

八戸の市内では、木造の家が南九州のえびの町あたりの家に比べると、ずっと強いものが多く、被害率からすると、全壊で1%余りというような数字が出ている。鉄筋コンクリートの方はまだ正確な被害率が出ていないが、たまたま1割という数字が新聞誌上に出ているようで、そうでたらしめな値ではないと思う。

とにかく、木造の非常にひどく壊れた家を八戸の市街地の中で探すことは難しい。これはやっとみつけた例で、こちらの方に大傾斜している。これは非常に古い家の例である。

鉄筋コンクリートの建物としては、八戸の市役所の他に学校関係の建物が3棟ばかり、相当大きな被害を受けた。その他、学校でないが2棟がやはり相当の被害を受けた。ほとんど被害を受けていないというものもかなりあり、いままで分かっているもので50ないし60棟ぐらいはほとんど被害を受けていない。もう少し被害を受けていないのがあると思うが、まだ正確な調査の統計が入っていない。

木造の全壊家屋は数にすると百何十戸かある。それが市街地にはほとんどなくて20棟足らずで、ほとんどが八戸市から西の方向、五戸との境の所に集中して起こっている。滝谷という所では、全壊が全戸数の3分の1をちょっと越し、残りの3分の2がほとんど半壊と非常に被害が大きかった。その辺一帯は非常に被害が大きく、带状にずうっと被害地が繋がっている。割合に山が迫っており、この斜面で地すべり・山崩れが相当起こっている。死者は大体この辺に集中して出ている。全部でおそらく20人ぐらいの死者が出たのではないかと思う。

家の被害は、半分はこのような土砂崩れ・山崩れでやられており、あとの半分は震動で潰れた感じがする。その震動で潰れた典型的なのが、この写真にある茅葺きの古い家で、完全に潰れて屋根だけが見える。幸い死傷者がなかった。こういう古い家じゃなくて新しい家もかなり被害を受けている。

例えば、これはちょっと変わった例だが、この家は土台の所が石の上ののっかっていた。これが外れて向こう側にずれてしまった。2～30cmぐらい。場所によって違うが、多少ねじれながら向こうの方向にずれて落ちた。もちろん、これはもう使いものにならない。この向こう側などを見ると、地割れがはっきり残っている。相当に地面全体が暴れたというが、非常に揺れ動いたことが分かる。

これは素人の方、専門でない方が造ったのだそうで、鉄筋コンクリートの2階建て、建築中だったこともあり、やむを得ないのだが大被害を受けた。典型的なのは、こういう壁の面内方向の力に対しては非常に強いと思うが、それと直角方向には弱いらしく、このような形の壊れ方が非常に目立っていた。屋根の面、あるいは2階の床の面がコンクリートの板とか、あるいはそうでなくても、何か適当なしつ

かりしたもので繋がってれば、こうまで壊れなかつたらうと思う。

これは志戸岸の少し斜面になった所で、山崩れでこの辺の家がこんなに傾いてしまった例で、ここでは死者が出た。

その辺の建物で被害を受けなかつた非常にわずかな例がこれで、非常にしっかりした骨組みになっている。ブロックを積んで、この辺りはコンクリートで締めた。これだけ頑丈だと大変な耐力になる。この程度のものは壊れない。

苫米地という所では、全体として被害がかなりひどい。これは小学校の鉄骨造りの体育館で、この筋交いがここについていたが、外れて飛び出してしまった。体育館全体としてはそうひどい被害にはなっていない。ああいう所の壊れによるエネルギーの吸収みたいなものがあったかも知れない。

これは五戸町から少し北の方に行って、十和田市に入った所の例。十和田市は国道4号線が南北に通っている。その東側の一帯がずうっとひどい被害を受けた。全体として帯状にひどい所がある。このような帯状の地帯がポコポコとあって、この点について地震研究所の松田助教授がいろいろ調べて、先日地震研究所の談話会で発表している。

これはブロック造りの例。この辺一帯は震動がひどく、被害がひどかったが、屋根面が木造であまりがっちりしていなくて、屋根の面とコンクリートでできているが、梁とがどうもあまりよく繋がっていなかったらしい。この部分が壊れて落ちてきた。水平方向のものと垂直方向のものと繋ぎのあたりが重要だという感じがした。

これはそのすぐ側で派手に壊れた例で、水平方向にはほとんど耐力のないような建物だから、壊れてもいたしかたないという感じがした。

骨組みとしては斜め材なども多少はあったが、とにかくこれだけの重みのものが横に揺れた場合にはほとんど抵抗できない。向こう側へピッシャッと潰れてしまい、取り壊しの最中であった。

これは鉄筋コンクリートの3階建ての被害例で、三沢市の学校である。一番端にある柱がやられて、2階から上が下へさがった。この柱もこの柱もかなりひどく壊れて、こういうふうに鉄筋が飛び出している。窓枠なども全部壊れてしまった。下の基礎の部分は、見たところでは何ともない。つまり地面にめり込んだとか何とかということではない。1階の長手方向の並びの柱はずっと向こうの方まで相当ひびが入っている。2階はほとんど入っていない。

そこから近くの学校で、こういう避難階段の被害があった。この建物自体、主な構造の所にはある程度ひびは入っているけれども、そう致命的な被害ではない。これと同じ避難階段がこちらの棟にもついている。棟が3本並んでいるそのうちの1つが倒れてしまった。こういう具合に、向こう側に倒れたので継目が出ていないけれども、継目はほんのちょっとしたもので、校舎の方が先にできて後から避難階段を取り付けたものだから、そこの所のコンクリートをはつって鉄筋を入れたものだそうで、継目が非常に弱かった。

これは、少し北東の東北町という所で、宅地造成地が非常にやられている。その一団の家のはずれの盛土をした傾斜面の土が滑って、ずうっとこちらの方へきた。つまり足元をすくわれたものだから、この家は見たところ震動に対しては割合丈夫な家なのだが、不等沈下で非常に傷んでしまい、もはや使えなくなった。

これがむつ市の庁舎。鉄筋の3階建てで、どういう訳か3階が壊れた。2階、1階は見たところはほとんど大した被害はないけれども、3階だけが壊れた。これもやはり2本の柱の列が長い方向にあるだけで、しかも周りに飛び出している。先程見えたスーッとした線は梁ではなくて、主な梁から飛び出した飾りの部分である。その一番奥の柱がこの辺にある。これが2本目の柱。これが3本目の柱。大体

下の方から1 m ぐらいの間が一番ひどくやられている。コンクリートが砕けてグシャグシャになっている。鉄筋もひん曲がっている。

これはさっきの東北町と同じように、むつ市のすぐそばでやはり宅地造成した所で、斜面崩壊して家が全部壊れてしまった例である。

これは函館のちょうど新潟地震の時にあったような水や砂を噴き出した所。函館港の埠頭で、火山の火口のような形になっている。

これは函館大学で、函館市中心から外れた小高い丘の上であって、鉄筋4階建てで「へ」の字形の平面になっている。一部が1期工事で先に出来、残りが2～3年前に出来た。全体として、1階の柱がやられ、完全にピシヤッとなっているけれども、特にこの付近だけは2階あたりもやられている。ちょうどこの部分だが、上から見ると落ちたような形で、これも下の地面の方は何ともなくて、1階の下の方の床はほとんどまっすぐのままになっている。上がったたり下がったりした形跡は全然見られない。構造としては、長い方向には2列の柱がずうっと並んでおり、1本おきに主な柱があって、その間のものはコンクリートでできてはいるが、非常にわずかに鉄筋が入っているだけの、半分飾りで、半分煙突が付いたもので主な構造の中には入っていない。長手方向の梁は縦長の断面で幅が20 cm であり、50 cm × 80 cm の柱断面にわずか20 cm 分だけ端部の方にくっついている。したがってこの骨組みはねじれるような形に力がかかる。そういった影響が相当入っていたものらしく、柱に斜めのねじれとかセン断とかいう力も働いていると思われる斜めの大きなひびが入っている。潰れている所はよくわからないけれども、上の方などの被害状況と合わせて想像すると、こういうことも原因になっているような感じがする。

斜めのひび割れが大被害の起こり始めではないか。また、柱には鉄筋が沢山入っている。鉄筋が沢山入っていて、うまくコンクリートと鉄筋が付いていたかどうかという心配があるほど、沢山ある。これは避難階段で負傷者が出た。継目が非常に簡単で、地震なんかですぐ落ちそうなもので、揺れている最中に外れてしまった。

この建物と道路一つ隔てた隣に、3階建てで全く同じような構造の建物があり、びくともしないで残っている。壁の所にひびが多少入っているが、そう詳しく見た訳ではなく、ざっと見たところ主な柱、梁は何ともなっていない。ただ、これは3階建てで、壊れた方は今は3階建てみたいになっているけれども、もともとは4階建てだった。そういう違いはある。ただ、そのかわりこちらは柱の寸法なんかひとまわり小さくしてある。そういう意味で、どうしてこちらだけがあんなに悲惨に壊れたのに、こちら側がなんともないのがよく分からない。例えば、さっきちょっと地震の波との関係でお話したけれども、あっちこっちで採れている波の記録を見ると、大きな加速度の波が20～30秒続いた後、割合小さくてその半分か3分の1ぐらいの大きさだけど、周期の長い波がやはり相当長く続く。壊れた時目撃した人の話を聞くと、相当ゆっくり壊れている。非常に傷んで建物の固有周期が延びたところへ、これに追討ちをかけるように長い波が来た。とにかくコンクリートで何百回というオーダーで、少なくとも100回以上だと思うが、繰り返されれば相当ガタガタになってくるので、やられたのだろう。一方、3階建ての方は少し周期が違うか始めに壊れることがなく、そのままの周期でおしまいまでなんともなかった。初めにやられた4階建ての方は、追討で非常に悲惨な目にあった。そんなことも一つの解釈になるのではないかという気がしている。

【質疑応答】

質問) 函館の例で、3階建ての方は37年頃、4階建ての方は40年頃、この間に建築法の耐震設計のやり方あるいは許容量といったものは変わっていませんか。

答) 37～40年では変わっていないと思います。

質問) そうすると、古い方も同じ基準で造られている訳ですか。

答) そうです。

質問) (聴取不能)

答) そうなんです。だからその辺苦しいのですけれども、3階と4階とだから周期なども多少違う。周期はまだ結果を整理していないのです。耐力にも多少は差がある。そうすると、何かそこでひびが入ってしまう。入りだすと、どんどん進んでしまうし、ぎりぎりのところでうまく入らなければ、それでそのまま壊れずにいってしまう。後の追い討ちをかけられる所で非常な差が出てきてしまうことは確かです。それぐらいしかどうも考えようがない。私共はただそういうことだけから想像しているにすぎない。材料の強度とかいうことは、北海道大学とか道庁の寒地建築研究所とかが調べておられるので、その結果を待つて総合的に判断しなければいけないことだと思います。今までのデータだけで推測すると、そのくらいしか考えられない。

質問) 例えば、施工時期によって何か原因は考えられますか。

答) それもまだ正式には発表されていないけれども、私の了解しているところ、また多勢の了解しているところでは、非常に寒い時にやったからという訳ではない。それも、ただ記録上の問題だから、どこまで本当か分かりません。真冬にやったという記録は残っていない。材料は品質の検査とか強度の試験とか直接にやっているので、その結果が分かれば、相当参考になると思います。

質問) 3階と4階とでは、地盤の条件は？

答) それがとにかくすぐ近くだし、私もよく分からないのですが、地質の方にうかがった範囲では、まず変わらないということなのです。

質問) 壊れた粉末を後から調べてみることはできますか。

答) それはある程度できるようです。それは寒地土木研究所で行っているはずですが、それとコアとありますが、部分的に持ってきて、それを圧縮試験する、ということはやっています。

質問) 折ったように割れたというのは、構造上のことから考えられないことはない訳ですね。

答) 結局、その辺は我々も少し反省しなければならないのですが、あまり沢山の繰り返しの振動で壊したという実験室の例がほとんどない、非常に少ないのではっきりしたことは言えないけれども、まあ今までのいろいろな他のそう沢山でない例から類推して、あのようになることは考えられます。結局、コンクリートががさがさしてくれば、どうしても潰れざるを得ない。

質問) そうすると、現在ある鉄筋の建物でも、やはり古いものは今までの小さな断片的な地震にしろ、かなり揺られていれば、一つの地震で揺れたのと同じような結果にならないとも限らないような気がしてお伺いした訳です。

答) 例えば松代付近ですね。その辺よく分からないのですが、どこまでいっているかということによるのです。先程の波の大きい部分の終わりの方では、とにかく周期がかなり変わっているようなところまでいって、後のゆるいので追い討ちをかけられたとすれば、相当傷んでいる訳ですね。いくら何遍やられたとしても、その間隔があいていて、あまりひどくひびが入ればどうせ補修されるでしょうし、そういう意味の心配はあまりないと思います。一つの地震であれ

も30秒ぐらい続いているから、それで相当ひどくなったところで追い討ちをかけられた。そういう気がする訳です。

質問) 今まで、避難心得などで、鉄筋の建物は丈夫だから、中にいたら外に逃げない方が安全だ、と言っていた訳ですが、そういうことになると、自分の入っている建物がどの程度安全かを確認しないと、危なくていられないような気もするのですが。

答) たまたま河角先生が団長の東京都の視察団に加わったのですが、その時やはりそういう問題が出ました。印刷物の中に入っていると思いますが、河角先生のお話の中に入っていなかったかも知れません。その問題をいろいろ話し合った。結論的には、やはり家の中にいた方がいいのではないかと、ということです。特別として函館以外の例で言うと、とにかく潰れたといっても、人間が横になれば何ともないような程度なのですね。もちろん、上から何か落ちてくるから注意することは、例えばしっかりした机などの下にいるとか、頭に布団をのせているとかいうことは、絶対にどんな場合でも必要だと思います。そういうことさえしていれば、潰されてしまうということは、ちょっと考えられない。函館大学の場合でも、あれはたまたま上下に壁がくっついたような、つまり壁が梁になったようなものだから、窓はなくなってしまっても、中にはこのくらいあいているのです。つまり梁の下の部分と梁の上の部分とが一緒になっている訳ですから、このくらいあいている。

これは極端なことを言っているのですが、もし仮に穴の中に閉じ込められても救い出すことはできる。もう一つ、とにかくあのようなになるまでには2～3分かかっているらしい。だから、相当ひどくなってきた時に潰れる。極端なことを言う人は「おさまってからああいうふうになった」という人もあるのです。これはあまりあてにならないけれども、とにかくある程度逃げる暇はあるらしい。むしろ、地震の始めのうちにあわてて逃げ出して、例えば避難階段で振り落とされたということもある。避難階段は別の問題ですが、八戸の市庁舎の場合は外に出た時に、モルタルか飾りの石かよく分からないけれども、とにかく上から落ちてきて頭の打ち所が悪くて亡くなった女性がある。

そういう意味で、やはり地震の激しいうちに外に飛び出すのは、どう考えても危険だということで、鉄筋コンクリートの今度の被害を見た上で、やはり前の通り地震がかなりひどい時には家の中に居た方がいい、ということに都の報告ではしたのです。

質問) 北海道の函館の辺か室蘭かの新聞を見たら、学校で地震の時に、先生が「机の下に入りなさい」と指導したと言うが、あれはおかしくないか、という投書があった。どうも考えてみると、その投書をした方が北海道生まれか何かで、強い地震の経験が少ないからかも知れないけれども、現地をお回りになって、土地の人達の地震に対する心得・常識が関東などと違うとお感じになったことはございましたか。

答) 特に感じませんでした。たしかに比較はあまりできないが、地震の事は少なくとも青森県あたりでは、普段少ないせいか、そう気にしてはおられなかったような感じです。ただ北海道では、この前の十勝沖地震のせいでしょうか、特に地震後の火事のための火の始末は非常に良くできていたようで、直接見たのではないが、北大の先生のお話では、非常に地震のひどかった所で地震が始まったらすぐに石油ストーブを外に持ち出した。道路にずらりと石油ストーブが並んでいた、ということで非常に訓練が行き届いていたのでびっくりした。そういう話は聞きました。

質問) 十勝沖地震の時には、ちょうど2月の寒い時だったが、たしか火事がほとんどなかった。そう

いう話を聞くと、あの頃は石油ストーブなどなくて、北海道はルンペンストーブで、あれをみんな外に持ち出したという話でしたが、そういう点、やはり大地震の経験がないものだから、割合地震の怖さを知らないでみんな落ち着いている、というふうに私は感じたのですが。

それから、陸奥の市役所の3階が壊れた。この種の被害は階下がやられるが、陸奥の3階が壊れたのは、単に2列の柱だけですか。

答) あの場合は、まだよく分からないのです。市役所の方は、だいぶ材質の事を言っておられた。そのためかどうかは、もう少し調べてみないと分からない。

質問) セメントにしても、JIS規格に合格していれば一応良い訳でしょうか。

答) そうですね。実際にセメントそのものというか、その練り方・調合の仕方というか、そういうのが3階だけ別になっていたのかどうか、別になっていたというよりも、出来上がったものにどのくらいセメント量があったか、そういうことは調べている訳です。

質問) 3階から上は何もないから、ということで怒られるかも知れないが、少し手を抜いたという感じはしたのでしょうか。

答) それはちょっと分かりません。ただ一つは、2階まで壁が上がっていて、3階でなくなっている所が2箇所あるのです。それは割合端っこの方なのです。こちらの端はなんにもなくて、こちらの端が壊れている。それも多少関係あるかも知れません。やはり壁があって上にないと、ちょうど八戸の市庁舎の一番上みたいに振られる事は考えられる。

質問) 先程見せていただいたスライドでは、暗くて見えなかったのですが、奥の方の柱はどちらの向きに潰れたのですか。建物の一番端の柱です。

答) どちらかと言えば、長手、建物の長辺方向へ潰れていたようです。こちらにもこちらにも揺れて、複合力のようなもので壊れたのだらうと思います。

質問) やはり2階と3階との構造の違いによって、3階の部分の屋根だけが変なふうに揺れた、ということですか。

答) 結局、いろいろな理由がなくては、あれだけにはならない。つまりあれと似たようなものでも何ともないというのがいっぱいあるから、結局、それとの比較で説明しなければならない。少なくとも今言えることは、いくつか原因が重なっているのだらう。そのうちどれがよく効いているのか、今言っているのは想像で言っているもので、例えば壁のせいだろうと言えば、それを一番大きな理由にしていることになる。材料の性質も入ってくるかも知れない。いろんなものが重なってくる。例えば周りにあって何ともないやつは、その原因のうちの一つだけしかなくて逃れたかも知れないし、あるいは二つか三つ原因が少量ずつしかなくて助かったのかも知れない。

そういう意味もあるので、今、建築学会を中心にして無被害の建物の調査を行っている訳です。八戸だけは無被害の建物をかなり東大の方で行ったのですが、それ以外はまだ全部進んでいない。改めてやろうか、と言っているところです。それをお互いに比較していくと、かなりはっきりしたことが言えます。

質問) 震度と柱の階の高さと梁のスパンとの共鳴する長さがあるのではないですか。例えばバスの場合、一定の速度になるとエンジンの振動がガラスにもものすごく伝わることもある。振動が同調したというのですか、ああいう状態で一定のスパンに対して一定の震度がものすごく振動を与える、というのはどうですか。

答) 結局、震度ということではなく、波の性質、地震動の性質ですね。同じ震度6でも、いろんな性

質の場合があるので、そういう意味で地震の記録が一番大切なのですが、八戸では幸い港湾技術研究所で管理されているのが採れていて、それを今解析中なのです。

それをちょっと見たところでは、先程言ったように、あるところで0.2か0.3秒くらいのところでしたでしょうか、0.2～0.3秒の波が多く含まれている、と言っていいかも知れませんが、建物の方が0.2秒とか0.3秒とかだと、共鳴に近い状態になる訳ですね。そういう事は十分考えられます。

質問) 6 m のスパンの梁は (聴取不能) けれども、7 m の場合は相当強い (聴取不能)

答) 水平方向の共鳴という事で言えば、水平方向の周期なので、(聴取不能)、ただ、今おっしゃるように、スパンとか柱の断面とか梁の断面とか、いろいろなものが関係してきて、計算上でも、あるいは実測しても周期が出てくる訳です。それとの関係は、今いろいろ調べている訳です。今ここでは言えませんが、とにかく基本的にはおそらくそういう関係がある。ただ、6 m で柱がいくらだから、というのではなくて、ちゃんと計算して出てくるものと比べられると思うのです。今そのような作業をしているところです。

質問) そうすると、それを避けるような設計がありうる訳ですね。

答) ですが、今度は地震の周期が常に0.3秒ぐらいが卓越しているとも限らないようなので、困るのです。その辺は、地震の方のかたからはっきりした事がうかがえれば、そのように造る事は出来ます。地震の場合は、そういう範囲がある程度広がっていて、それを完全に逃げてしまうのは、よほど特殊な事をしないとだめのようなようです。

質問) 柱の断面ですが、今常識的には、鉄筋をほとんど中央部に入れずに、外部に入れるのですけれども、強度的には良いけれど、ある程度逃げて、中に、ある部分の鉄筋を入れるという実験はない訳ですか。

答) それはたしかに、ああいう被害でみると、重要な事かも知れませんがね。周りがやられても、中の鉄筋とコンクリートとがきちんと繋がってれば、潰れることはありませんからね。

意見) 建築学の方では、常識的には中に入れるのは無意味だという考えはありませんけれども、それを破って中に入れた方がおもしろい。

答) 大変おもしろいご意見ですね。考えてみましょう。

質問) 木造の方について、お話は大体コンクリートの大きい建物で、波で言えば尻尾の方、おそらく表面波で決定的な破壊を受けている。木造では、だいたいどこら辺で決定的にやられているのですか。例えば、家のずれている方向とか、あるいは住んでいる方がすぐではなくて何秒経ってから逃げたか。

答) その調査はあまりやっていないのです。先程のずれているやつは、大体松田さんの墓石のものと似ているのです。松田さんは、ああいう家のずれたのも一緒に調べたので、少しラップしています。それが波のどの部分に当たるか、まだちょっとわからないのです。

質問) 先程の松代の実験であったように、やはり加速度とかよりも、ディスペースメントが本質的に役割を果たしていると考えていいのですか。

答) 潰れる時はディスペースメントだと思います。ただ、ずれるとか瓦が落ちるとするのは、やはり加速度でしょうから、初めの方になると思います。

質問) ブロックの建物は、臥梁とブロックとの継目が弱いというお話でしたが、ブロックそのものがピシヤンと潰れるようなことはないのですか。真ん中あたりから潰れるような事はないのですか。

答) えびのに一つだけ例がありました。これは形が悪かったのが一つの大きな原因だと思いますが、壁がこういうふうであって、ここにかなり片寄って、この辺に壁がある。ここは空いている。これは潰れてしまった。ぼくらはあまり調べていないのですが、とにかく今までも、こういう形のもの、木造でも何でもねじれるので潰れやすい。もう一つ、十和田市の倉庫ですが、ほとんどこれに近いこんな恰好の家がやはりこう揺れてこう潰れる。潰れるというか大傾斜してしまって、もう片付けてありましたが、似ている訳です。こういうふうに一面向完全に空いてしまうと、ここがねじれてしまう。両側の壁が頑張っていれば、かなりいいはずなのですが、やはり潰れてしまったのは、2例ともこういう壁がコの字型に配置された平面形のものでした。

質問) 自動車の車庫などは、このような形になっていますが。

答) もちろん、このような形の自動車の車庫で潰れなかった例もある。だから、全部潰れてしまうという訳ではないのですが、潰れた例から見るとこういったのが多い。