

南海トラフの巨大地震モデル検討会（第 27 回）

議事録

内閣府政策統括官（防災担当）

南海トラフの巨大地震モデル検討会（第27回） 議事次第

日時：平成24年11月6日（火）9:59～11:41

場所：中央合同庁舎5号館3階防災A会議室

1 開 会

2 議 事

- ・長周期地震動の検討について
- ・その他

3 閉 会

○藤山（事務局） それでは、定刻となりましたので、ただいまから「南海トラフの巨大地震モデル検討会」第 27 回会合を開催いたします。

委員の皆様には御多忙の中、御出席いただき、まことにありがとうございます。よろしくお願いたします。

なお、本日は今村委員、入倉委員、岡村眞委員、金田委員、平原委員、翠川委員、室崎委員、山岡委員は御都合により御欠席となっております。

また、本日は長周期地震動が超高層建築物に与える影響について御説明いただくため、小堀鐸二研究所の小鹿副所長に御出席いただいております。よろしくお願いたします。

それでは、お手元に配付しております本日の資料をまず初めに確認させていただきます。

議事次第、座席表、委員名簿、次回開催予定、福和委員提供資料、小堀鐸二研究所提供資料、非公開資料が 1～3 ございます。その後、参考資料、また、第 26 回会合の東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の再現の資料を机上に配付させていただいております。非公開資料につきましては委員の皆様方だけにお配りしております。よろしいでしょうか。

議事に入ります前に議事概要、議事録の公開、非公開について確認させていただきます。議事概要は早急に作成し、発言者を伏せた形で公表、議事録につきましては検討会終了後 1 年を経過した後、発言者を伏せた形で公表することとなっております。

また、本日の資料につきましては、非公開資料を除き公開とさせていただいております。

以降の進行は阿部座長にお願いしたいと思っております。よろしくお願いたします。

○それでは、議事に入ることにいたします。

最初の議題は長周期地震動と建築物についてでございます。●●委員に説明をお願いしております。それでは、●●委員、お願いたします。

○承知いたしました。

事務局から●●先生と 2 人で建築と長周期地震動との間の関係を説明するようというのでしたので、最初に私のほうから極めて単純な振動の基本的な基礎の部分と、長周期地震動に対する建物の応答はどんな状況になっているかということをお説明したいと思います。

一部はお手元の資料に入っていないものがありますので、前を見ていただきながらお願いたします。

この絵は地震が起きる前と起きた後で、超高層ビルの中でどんなことが起きるかということをお描きしたものでございますが、比較的背の高い建物はよく揺れ、そして上部構造の中で相当に室内が散乱し、非常階段なども非常に狭いので、避難時にも苦勞するだろうということをお示した絵でございます。

例えばの例で東京の超高層ビルはどんな様子か見ていただきますと、左側が比較的初期につくられた超高層ビル群で新宿、少し後になってつくられた汐留、今、盛んに作り直されている丸の内地区など、相当なボリュームの高層ビルがございます。全国に大体 2,500

ぐらいあるうちの 1,000 ぐらいが東京に集中していて、この程度の密度であるということでもあります。

東海・東南海・南海地震の予想される被災地の中の 3 大都市に、どんな建物がどのぐらいの密度か見ていただきます。

まずこれが超高層ビル、高さ 60m を超えるビルがどの程度あるかということで、この裏にあるのが内閣府でつくっている長周期地震動の周期マップで、赤いところが長周期の場所ですが、こういった形で東京、大阪に特に多く存在しています。長周期の構造物は超高層建物と免震建物が主としてありますが、超高層建物の場合には大変減衰が小さい特性があります。それに対して比較的大きな減衰、20% ぐらいを持っている免震のビルがこういった密度になります。これは免震ビルがある状態の様子まで加えました。先ほどに比べるともう少し日本全国にちらばってまいります。

さらにこれに免震住宅、戸建住宅を加えていきますと、こんな形になっていきまして、特に静岡中心あるいは愛知、静岡、神奈川でしょうか、相当にたくさん免震戸建住宅がつくられています。今、多分免震建物が 4,000 ぐらい、免震戸建住宅が 5,000 ぐらいあるのではないかと思います。トータルで長周期の建築物というのは 1 万ぐらいあるだろうとオーダー的には思われます。それが比較的周期長く揺れる場所に集中的に存在しているというのが、長周期地震動の大きな問題になります。

これを日本全国を 100 としたときに、それぞれ各県にどれぐらいの割合があるかというもので、赤色で書いてあるのが人口の集中度合いです。黄色で書いてるのが経済の集中度合、これは GPP です。それに対して免震建物の集中度合がブルー、一番上に東京が飛び出ているのが超高層建物の数の割合と、いわゆる建築の中で最もプロフェッショナルだと言われている建築構造士、これは日本全国に 3,000 人弱いますが、その分布を書いています。要は超高層建物を設計する人と、超高層建物の数というのは完全比例であって、それが人口に比べて東京に極めて集中していて、次に集中している場所が大阪で、人口に比べて特にひどく集中しているのが東京となります。意外とバランスがいいのが手前味噌ですが、名古屋というふうに見えてきて、愛知県は人口バランスと産業バランスとインフラのバランスが意外ととれている。それは福岡も同じでございます。

こういったような建物に対して、従来どういうふうの高層建物の設計がなされてきたかで、時代によって設計で考えるべき敵である地震動の考え方が変わってきています。

当初は揺れを予測する技術というのはありませんでしたから、観測されている地震波を使っていました。代表的な観測地震波としてはインペリアル・バレー地震のときのエルセントロの揺れ、それから、カーンカウンティ地震のときのタフトの揺れ、十勝沖地震のときの八戸の揺れ、この 3 つをずっと使い続けてきております。

当初は加速度で基準化をするようなことをしていたのですが、ある時期から高層ビルは長周期の問題が大きいので、速度を基準化しようということで東京、名古屋地区は 2 次の

設計では 50cm/秒に最大値を基準化し、大阪地区では 40cm/秒で基準化しているということで、地域によって考えている揺れの強さが違うということがございます。

それが 80 年代後半ぐらいから、応答スペクトルに適合する形での地震動をつくるようになってきました。その後、95 年の神戸の地震を挟んで、断層モデルに基づいた揺れを個別のサイトでつくるということがふえてきて、2000 年に建築基準法の改正とともに建築基準法で考えられている応答スペクトルに対して適合するような模擬波をつくる。それが告示波となります。

2003 年の十勝沖地震ぐらいを挟んで長周期地震動の問題がクローズアップされてきたこともあって、そのころからある種類の建物については長周期地震動に配慮をした設計も行われるようになってきた。何となく大体こんな感じで進んでいって、下のところにそのときにどんな構造物がつくられ始めたか、高層建物、免震建物、制震建物等々の話が書かれております。

上半分と下半分で、横軸が高層建物の周期別の建物の建設棟数で、上半分が兵庫県南部地震の前、下半分が兵庫県南部地震より後の建物で、そこの中に書いてある 3 本の線はエルセントロとタフトと八戸の地震動の応答スペクトルであります。この応答スペクトルを見てみると、ちょっと言いにくいのですが、兵庫県南部地震以前は観測地震波 3 波の谷となる周期のところを狙って高層ビルがたくさんつくられていたという現状がございます。それ以降、模擬地震動というものをつくって色のない形での地震波を考えるようになったので、特定の周期のところを狙って建物を設計するということではなく、設計が行われてきているという様子もこれで見てとれるかと思えます。ここまでが前段であります。

長周期の揺れを考えるときに、我々建築構造家はどんなことを考えるかといいますと、まず地震の大きさをどう考えるかということで、大きな地震ほど長周期はたっぷり来るなということを頭に思い浮かべます。

その次に、アスペリティの大きさと卓越する周期というものが震源との方位特性の中で決まってくるので、嫌らしいアスペリティのサイズだと嫌だなということも考えつつ、少し頭に置きます。

波の伝播ですが、波長が長いと減衰しにくいから、遠くの地震でも嫌だなということを考え、特に遠くからやってくる表面波は幾何減衰が $1/R$ ではなくなるので、さらに減衰がしにくいということも頭に置きつつ、地震動をどう考えようかということを一応は考えます。

東京、大阪、名古屋のような大規模な堆積盆地の中では、平野固有の周期の増幅がございますし、盆地構造の中でトラップされた波が波動を長くさせるという継続時間の伸長効果がありますから、そのあたりを考えつつ設計をするのですが、これを全部考えていると設計費用を幾らもらえても多分設計ができないということになるので、これ全部を考えるのはよほどの建物だけであって、そうではない場合にはもう少し簡略な方法で物事を考えていくということをしております。

これは東北地方太平洋沖地震のときの4つの観測点での記録の応答スペクトルを、疑似速度応答スペクトルの形で書いております。仙台の記録と新宿の記録と大阪此花の記録と名古屋の記録であります。短周期のところは震源からの距離に従って見事に減衰をしてきていて、1秒より下のところでは仙台、新宿、大阪、名古屋と見事に減ってきていますが、一方で比較的周期が長いところでは、その減衰の減り方が少ないということで、先ほどの震源のスペクトルの特性と波動の伝播の特性があって、長周期の距離とともに落ちてくる様子が少なくなっていることが見えてきます。

その中でも特徴的なものが、KiK-net 此花の記録で、周期6秒ぐらいのところで見事に大きく増幅をしています。それから、右側のところにKiK-netの基盤観測点での加速度と速度と変位の距離減衰特性を全部の記録についてとっていますが、加速度だけが距離減衰が大きくて、速度とか変位は余り距離とともに減衰していないという様子もございませう。

建物の特性ですが、同じ建物であっても遠くで起きる地震と近くで起きる地震とでは随分揺れ方が違います。黒色が地盤の記録、赤色が10階建ての鉄骨造の建物の頂部の記録になります。これは名古屋大学の中の鉄骨ラーメン構造の建物の記録ですが、長く継続している揺れがあると建物というのは徐々に揺れが増大して行って、長く継続し、共振している。一方で、非常に短い揺れに対しては余り応答せずに、地盤の揺れと建物の揺れは余り変わらないという特徴がございませう。

次は基本的な建物の応答特性です。これは皆さん当たり前のように御存じのことだと思ひますが、建物の高さにおおむね周期は比例してきます。これはほとんどの建物で見事の線形関係があって右上のようになります。一方で右側の2段目の絵は建物の持っている減衰というものを書いたものですが、建物高さとともに減衰は小さくなっていくという特徴がございませう。

これは後ほど簡単に実験で御紹介しますが、これは地盤と建物との間の動的相互作用効果に伴う減衰が、低層の建物ではたっぷりとれるということがございませう。高層の建物は減衰がとても小さいので、1回揺れ始めたら止まらないという特徴がございませう。

かたい地盤とやわらかい地盤では、やわらかい地盤のほうが揺れを逃がしやすいということもあって、かたい地盤のほうが減衰が小さくなります。やわらかい地盤のほうが建物にとっての減衰は大きくなります。

減衰が小さくて周期の長いものの特徴は、共振が始まってから実際に共振していくまでに、揺れが育つのに極めて長い時間がかかるという特徴がございませう。一方でパルス的な揺れ、神戸のような揺れに対しては共振が育つ前に揺れが終わりますから、入力揺れに対して応答の揺れはよく反応しても2~3倍にしか増幅しません。

一方で、長い間揺れる場合には減衰定数を h というふうにしますと、建物の応答は $1/2h$ まで増幅をしていきます。ですから一般に高層建物の減衰定数、例えば1%とか2%と考へたとしますと、1%であれば共振時には50倍に揺れが増幅し、2%の場合には25倍に

揺れが増幅していくということで、地盤の揺れに比べて極めて大きな揺れになることを意味します。それに対してパルスであれば2～3倍にしか増幅しませんから、パルスと比べて長い継続時間でやってくる長周期の揺れが相当に苦手であることとなります。

今、申し上げたようなことを考えていきますと、大体高層建物の応答というのはどのぐらいになるかといいますと、私たち高層建物の設計をするときに大体建物の100分の1ぐらいまでに揺れをおさめるような設計をしていますから、200mの建物であれば応答振幅は2mぐらいを覚悟した設計をしているということになります。それは設計上覚悟していることとなります。そのぐらいの応答になると、大体速度はどのぐらいになるかといいますと、建物高さに周期が比例するというのを勘案していくと、速度応答は大体常に2m/秒から3m/秒ぐらいを設計ではイメージしていることとなります。

問題は、これより大きな速度応答になってくると、設計で考えているもの以上の応答をすることになるので、そういった揺れになっているかどうかについて吟味することが、長周期地震動を考える上では地盤の揺れとしては重要であることとなります。

共振というのがどんな具合なのかですが、地盤の周期は皆さん御存じのように表層がやわらかく、そして厚いほど周期が長くなります。同じようなことは建物についても言えて、建物高さが高いほど長い周期になる。その2つの周期が近接してくると共振現象があらわれるということで、これはNHKでつくられた映像ですが、特定の建物が見事に共振をしている様子がわかります。特定の高さの問題になります。

これは名古屋駅前にある250mぐらいの高さの建物で、建物を建設していく途中でずっと観測をしてみて、建物高さが変化するとともにどういうふうに周期が変化するかを見てみたものですが、見事に線形的に周期がふえていっていて、その途中で宮城県沖で起きた地震が見事にとれたのですけれども、それが左上の絵で、地面の揺れに比べて建物の揺れが極めて大きく増幅している様子が見えてまいります。

同じ建物でどんなふうに地震の揺れが変わるかですが、黒色が地盤の揺れで、赤色が建物の揺れで、5階建ての状態ですと増幅はこんな形です。これは鳥取県西部地震のときです。これは7階建てになったときに三重県で地震があったのですが、先ほどと比べて減衰が小さくなって周期が長くなって揺れの特性が変わっていきます。その後、完成した状態で見るとこんなにも見事に共振応答をしていくということで、建物の高さということと、減衰の小ささが問題になってくることとなります。

それがわかるような実験道具をつくってみたものがこれで、右下がやわらかい地盤で、左下がかたい地盤です。同じ揺れを入れていても、地盤の周期と建物の周期が近接してくると、右側のように極めて強い揺れになっていくということで、今ここで議論していくべき長周期地震動の問題というのは、左ではなく一番右側の建物のようなものがあるかどうかを吟味した上で、そういった建物があったとしたら優先的に対策をとっていくことが必要であることとなります。

それが見事に出たのが大阪咲洲庁舎でございまして、実際の庁で観測された揺れを再現してみると右上のような揺れになってまいります。比較的近くにある KiK-net 此花の基盤観測点が千数百 m の地区にあります、その場所の揺れから地表の揺れ、1 階の揺れ、52 階の揺れというふうに順番に書いてみました。

この間どんなふうに揺れが増幅したかということを見ていただきますが、まず基盤から地表との間で加速度波形のフーリエスペクトル比をとってみますと、6 秒強のところ、6.5 秒ぐらいのところ、30~50 倍の増幅がございまして。これは地盤のインピーダンス比だけで考えると、こんなに大きくなることはないはずなのですが、多分いろいろな理由があって、表面波成分が横から来たとか、ひょっとしたら焦点効果のようなものがあるのかもしれませんが、この場所では極めて大きな揺れが増幅が地盤の中でございました。これは真下から入ってくる揺れを考えていただけでは説明ができません。

その上で、地表から 25 階の間では再び周期 6.5 秒ぐらいの成分が 50 倍ぐらいに増幅していることとなります。つい先日、金森先生が東京で講演されていたときにもお話をされていましたが、仙台から大阪まで基盤の揺れで言うと 30 分の 1 に減っているのですが、基盤から地表までで 30 倍から 50 倍に増幅していて、仙台と同じぐらいの揺れのレベルになっていて、その上でさらに建物の中で同じ周期成分がどんと増幅されたということで、結果として 1,000 倍を超える増幅を基盤から建物頂部までの間でしていることとなります。

応答スペクトルを基盤、地表と 1 階、52 階のレベルで書いてみると右側のような形になってまいりまして、特定の周期で極めて大きな揺れになってきたということもございまして。少なくとも東北地方太平洋沖地震でこういうものがあつた。ただ、実はこれは事前に予測できていたわけではなくて、事前の予測では地盤の周期は 6.5 秒よりも低い周期だと見積もっていましたし、建物の周期も 6.5 秒ではなくて、もう少し低い周期だと見積もっていたこともあって、実際に来てみたら事前に想定していた地盤や建物の周期とは 1 秒、2 秒の幅で差があつた。それはたまたまよく似ている建物があつたということでもあります。

今のようなものをどうやって直すかですが、結局は揺れにくくするためには減衰を増やすしかなくて、ダンパを設置するというようなことをする。それでも足りなければもっと揺れを小さくするような特殊なダンパをつけるというようなことで、減衰をどんどん増やしていくこととなりますが、これは幾らやっても周期は変えられないので共振振幅を減らすこととなります。

一方で周期をずらそうとすると、建物高さを変える、減築をするか、途中の階に揺れを変えるような免震装置を入れて揺れの周期を変えるということしかないだろうと思います。ダンパではせいぜい数割しか応答が減らせられないので、その想定される揺れの強さに応じて数割ぐらい減らすのであればダンパは比較的簡単にやれる。でも、ドラスティックに減らそうとすると、何分の 1 と減らそうとすると周期を変えるしかないこととなります。

そういったときに使うのが免震と制震になってまいります。免震というのは建物の下にある免震装置を入れることによって、揺れの周期を変えるということを行います。制震とい

うものは基本的にねばねばの材料を入れて揺れの周期を変えずに、建物の揺れを抑えるということをするということです。免震の場合も周期が合ってしまうと具合が悪いということで、これはE-ディフェンスで実施した免震病院の実験で、長周期の揺れを入れてみたら免震であってもこんなに大きく揺れてしまったということが実験的に出てまいりました。これも具合が悪いことになります。

そういうようなことが、実は東北地方太平洋沖地震で出てきてしまいました。

現在、免震建物というのは大体こんな形で増えてきております。毎年相当な数がつくられておりまして、ビル、マンションに比べて戸建住宅が随分つくられてきております。

ある住宅メーカーさんは既に4,000棟の戸建住宅をつくられています。その中で今回の地震で大きく被災をした地域にある免震住宅の数は約1,000棟ございました。その1,000棟あったうち宮城県にあった9棟と、神奈川県にあった8棟が相当大きく揺れてしまいました。宮城県であればよく揺れているところだから仕方がないなと思いますが、なぜだか神奈川県で極めて大きな揺れで揺れてしまったものが出てきました。免震建物の場合にはけがきという形の装置を免震層のところに入れていて、どれだけ変位振幅があったかが後で見られるような工夫がされていたからわかりました。

そのけがき記録を神奈川県のところでも全部調べてみて、そしてそこに私ども常時微動計測に赴いてみました。そうしましたら、神奈川県の特定の建物、何十棟とある中の数棟だけですが、見事に免震周期と地盤の周期が一致している場所が数棟あって、そこで見事に共振応答をしていて、免震であっても想定よりも大きな揺れをしていたということが出てまいりました。そういったことが今、出てきつつあるということです。

そう思いながら、例えばある種の建物はどんなものかというふうに見てみると、これはテレビ局の建物であります。東京キー局のテレビ局でございます。一部のものを除くと大変な高層ビルであることがわかります。真ん中の2段の下のところが大阪と名古屋のテレビ局を4つだけ入れていますが、地方のテレビ局は低層のものが多いのですけれども、東京キー局だけは超高層ばかりであることになります。

同様にこれは電力会社の本社です。どことは言いませんが、左と右は東京都と大阪、どちらがどちらとは言いません。真ん中は名古屋であります。明らかに重要なものについて高層建物が、特に東京と大阪で極めて多くつくられていて、そういったものについての健全性は何らかちゃんとチェックをしておく必要がある。

残念ながら長周期地震動についての本格的な検討というのは、まだ緒に就いたところであって、そういったことを念頭に設計された高層ビルというものも決して多いわけではない。ほとんどのものは共振をしていないと思いますが、ごく一部のものについてはそういうものがある可能性があって、少なくとも免震の場合、4,000棟も同じ建物をつくっていたら、数棟以上はそういった問題が相当震源から離れているところでもあらわれた。高層ビルも何百という数の中で大阪で1棟そういうものがあらわれたということで、最大クラ

スの地震のように万が一ではないかもしれませんが、でも1,000分の1ぐらいとか、何百分の1ということ言えば、何か問題が生じることはあり得るということです。

問題は、こういう非常に重要なものが1,000本のうちに1本でも何か問題を起こしたときの日本のダメージをどのぐらい考えるかによって、こういったものの取り扱い方が変わってきます。あくまでも高層建物は通常の民間建物の1つとしてつくっているだけでありますから、そういったことについて特段の規制もありませんし、「ねばならない」ということは何もないわけでごさいます。そのあたりは民間で考えるべきことではなくて、国としてどういうふうを考えていくべきかということは指し示されないと、特に民間事業者にとっては非常にづらい問題ではないかと思っております。

以上であります。

○大変示唆に富んだ御説明でございました。ちょっと時間がオーバーしてはいますが、幾つか御質問をお受けしたいと思います。どうぞ御質問のある方はお願いします。

○非常によくわかりましたけれども、建物を建てる時に建物の固有周期などの計測はやっていないのか。設計で想定した固有周期と実際にできたものにはかなり差があるかどうか。建築地点の固有周期、単に1種、2種、3種ではなくて、そういうものを考えていないのかどうか。

○これは●●さんが答えられたほうが適切かもしれませんが、とりあえず私のほうで答えます。

まずは建物の竣工時に周期がどうなっているかということは、従来は測ることが一般的でした。設計で考えている周期と竣工時の周期がどのぐらい対応しているかということを見ていることをずっと高層ビルではやってきてはいましたが、これだけ高層ビルが普及して、一般的なマンションがどんどんできてくるようになると、普通の建物の延長線上だと思ふような物件も増えてきていて、全てというわけでは今はないだろうと感じます。当初はほぼ確実に周期をチェックしていました。

周期のことについては、鉄骨造の場合には比較的弾塑性性状が明快で、弾性域と塑性域はぽっといくということがわかっていますから、周期の変化が塑性化に入らないと余りないので、設計時に小さな微動の周期を調べておけば、ある程度のもので言えますが、鉄筋コンクリート造の高層ビルについては、周期の変化が極めて揺れの強さによって大きいので、このことについてまで解析ですごく正確に予測することは、やや難しい可能性があります。

地盤の周期については、もともとこれは一般にこういうふうみんなが言っていたということですが、長周期建物は柳に風と動くものであって、揺れれば揺れるほど安全という言い方が随分昔にされていた傾向があります。それは地震動は長周期の成分がないと勘違いをしていた時期で、短周期の揺れだけを主として地震動はあるからというふう考えていた時期がずっとありましたから、長周期の揺れについて地盤の揺れをチェックすることは、ずっと多くはなかったと思います。

その問題が特に脚光を浴びたのが 2003 年の十勝沖地震後。ただ、当然地盤振動研究者の中では 1980 年代から、特に東京の高層ビルについては周期の 7～8 秒のところが揺れが卓越するので、そのことは問題であるという発言は随分していましたがけれども、設計者と研究者との間のギャップはあったので、地盤の揺れがしっかりと測られるようになったのは多分 21 世紀に入ってからだと思います。

ただ、その周期も非常に大事だと思って設計をするオーナー型の建物の場合にはチェックをしますけれども、どちらかと言うと少しでも安価にたくさん売ることが必要とされているような種類の建物の場合には、建築基準法で定められている入力に対して設計をすればいいという考え方もありますから、あえて建物の周期や地盤の周期を測るということはない場合もあります。これは建物の種類によって全く違います。一番しっかりやっているのはオーナービル系の自社ビル系。これは非常にちゃんとやっています。テナントが入る賃貸型のものはグレードは多分おのずと違ってくるはずでありますし、住宅に供されるものは住む人たちの意向が先に来ますから、そこはまた違う。多分大きく 3 つのグレード違いはある可能性はあります。ただ、ここも一般論として言えるわけではなくて、個別にみんな性能は違うので、微妙に悩ましいところだと思います。

○嫌ですね。東京には高層マンションがどんどん増えてきているのに、その 3 つのパターンにどれに入るか。それでは、どうもありがとうございました。

続きます。長周期地震動が超高層建物に与える影響につきまして、●●の●●に説明をお願いいたします。●●さん、お願いいたします。

○御紹介ありがとうございます。●●の●●と申します。

今、お話がありましたように、長周期地震動が超高層建物に与える影響についてお話をさせていただきます。

今日お話する内容は、2 種類のところで検討しているということで 2 つのお話をさせていただきます。

1 つ目が、内閣府さんの委託で日本建築学会が 2007 年から 2011 年まで 5 年間にわたって受託している内容。その中の建物応答、建物損傷評価に関するお話でございます。それを書いたものがこちらでして、2007 年から 2010 年、4 年間の計画でなされたものですがけれども、その間には超高層建物の長周期地震動対策に関する調査というタイトルでお仕事を受けて、学会として調査を行ったということです。ここで終わる予定だったのですがけれども、2011 年 3 月に東北地方太平洋沖地震が起きたので、1 年延長されてその貴重なデータを集めるということで、5 年間にわたって実施したということでございます。

その中で設定された地震動の話ですがけれども、これは 2003 年の中央防災会議で設定された震源域をもとにして、東海・東南海・南海の 3 連動地震でどういうふうな地震が起きるかをまずはつくってみようということで、結論としてはこういう地震が起きると東京、名古屋、大阪に建つ既存超高層建物は、当初設計時に想定した地震動よりも相当大きく、長く揺れる可能性が高いということがわかったということでございます。

では、実際にどういう地震動をつくったかということですが、東京・大阪・名古屋の3大都市圏で、小さく地図の中にぼちぼちと見えますのが各区とか市の庁舎があるところで、各地点での3連動の推定地震動を、3次元FEMで非常に大きなモデルをつくって、評価したのが図に薄く実線で示したものです。地域ごとにゾーニングをしまして、これらの平均と $\pm 1\sigma$ という線を引いたのが、例えば東京ですとこれが $+1\sigma$ 、これが平均、これが -1σ ということでございます。

それをさらに地震動のばらつきというものを考えて、例えば平均の場合にはこういう台形状の直線で基準化する。 $+1\sigma$ の場合にはこういうふうな台形状に基準化してやるということで、これにフィッティングするような波をつくって、建物の応答解析に供したということでございます。

特徴としましては、東京の場合には平均レベルで大体ピークで100カイン程度。 $+1\sigma$ で120カイン、周期帯で言うと6～9秒ぐらいにピークがあるというものでございます。

名古屋の場合には平均が100カインで、 $+1\sigma$ が125カイン、周期帯で言うと2～5秒ぐらいにピークがあるのが特徴です。

大阪の場合には平均が100カインで $+1\sigma$ が135カインということで、周期帯で言うと4～11秒ぐらいといったピークがある。それが特徴になっています。

これを建物に入力するのですが、実際に日本に建っている超高層建物は約2,500棟ございまして、そのうち長周期地震動の影響を受けやすい周期2秒以上の建物は約1,100棟あるということがわかっています。これらの建物は各平野に、関東では630棟、大阪に170棟、濃尾平野に約40棟という割合で建っています。ただし、全部が全部長周期地震動に対して大きな構造被害が生じるわけではございませんで、建物自身が持つ構造特性に応じてさらに限定されて、少し構造被害が出てくるのではないかと思われるのは100棟以下、数十棟程度であろうと予測されています。

実際にどのぐらいの被害が出るのだろうかということで、先ほどの地震動を使ってモデル建物の応答解析を実施しました。モデル建物はこの4種類です。30階建てのS造、50階建てのS造の長辺方向と短辺方向、40階建てのRC造の集合住宅を念頭に置いたもの、こういう4種類で3.8秒、4.5秒、6.2秒、2.8秒という固有周期を持つ建物を設定いたしました。

結論ですが、東海・東南海・南海3連動地震で共振の可能性のある超高層ビルは機能が損なわれて、場合によっては写真にありますような梁の下半分が破断して構造的な被害を受けるような場合があるだろうということがわかりました。それから、50階建てクラスの超高層ビルでは、頂部で片振幅2m以上が10分以上も続く場合があるということなのですが、ただし、非常に過大な変形というのは生じないということで、倒壊、崩壊に至る可能性は極めて低い。ただ、ゼロとは言い切れないということでございます。

先ほど●●先生の話にもありましたが、超高層建物に制震部材を取りつけると、その揺れと継続時間は顕著に減少し、構造部材の損傷を小損程度にとどめることができるということでございます。

実際に先ほどの4棟について損傷評価を行ったものを御説明いたします。建物機能・損傷度判定という観点から、JSCA（日本建築構造技術者協会）でこういう表をつくっています。この表は何かと言うと、損傷度合いを5段階に分けてλ4から0まで。右に行くほど損傷度が大きいということになりますが、一般的な新築超高層は2番から左におさまるように設計されているものでございまして、このラインを超えてしまうと設計上考えている被害よりはより大きな損傷を受けるということになって、特に0番あたりになると大損以上ということになりますので、場合によってはかなりひどい状況になることも考えられる。

先ほど梁端が破断するというのは、このラインを超えると、これより右に行くと梁端の破断等が起きる可能性が高いという、そういうことで見ていただくといいかと思えます。

実際に4つの建物で、それぞれ各平野ごとに地盤の卓越周期が違いますので、共振する場合が最も厳しいということで、関東平野で共振しそうなのは50階建ての短辺方向、濃尾平野で共振しそうなのは30階建てのS造と40階建てのRC住宅、大阪の1、2というのは大阪の周辺地域、これは大阪の中心地域ということで2つありますけれども、いずれにしても50階建てのS造クラスが共振しやすいということで、もっとも共振に近いような状態の損傷をあらわしたものです。

色は先ほどの表と合わせてありますので、ブルーのところはいいのですけれども、薄いグレー、濃いグレーのところではかなり被害が生じる可能性がある。上半分が建物機能上の被害、下半分が部材の損傷ということで梁端破断とか、そういったことをあらわしているものでございまして、特に濃いグレーのあたりが目立つということは、そういった構造的な被害も生じる可能性があるし、上半分で濃いグレーのゼロというところになると、機能的には全く使い続けることは不可能で、再利用可能かどうかとも怪しいという状態をあらわしているということでございますので、これはまとめますと3大都市圏に建つ超高層ビルの中で、3連動地震によりいずれの都市圏でもかなりの被害が生じる超高層ビルがあるということが言えるのではないかと。全部が全部ではありませんけれども、一部の超高層ビルでそういうことになる可能性が非常に高いことがわかってございます。

申し遅れましたけれども、これは関東平野、濃尾平野、大阪平野ともに+σの波を入れた場合の結果でございます。平均的な波を入れた場合にはもう少し損傷度は低いということと言えます。

それに対しまして、30階建てのS造のホテルを例に、現状ではこういうふうな濃いグレーのような損傷状況になるのですけれども、それにこういうオイルダンパ系の制振装置を組み込んでやって、いわゆる制震改修を行うとどうなるかというのがこの右のほうでして、73分の1だった層間変形角は111分の1ということで、通常使っている超高層の設計基準

である 100 分の 1 を下回り指定機能も確保できるし小損におさまるということから、非常に制震化というのは効果があるのだということがわかったということでございます。

もう一つの例ですけれども、これは防災科研さんのつくられた波に対して建物損傷予測をしたものでございまして、平成 23 年度に文部科学省から防災科研さんに委託されたものの一部を小堀鐸二研究所で受託して実施したものの、その一部の結果の御報告でございます。

ケースを 2 つ設定しておりまして、標準ケースと想定最大ケースということで、標準ケースは先ほどの学会と同じようにもととの東海・東南海・南海の 3 連動を考えた場合で、想定最大ケースというのはそれに加えて、南海トラフ沿いのこういうところも動いたということ考えた場合で、東京、大阪、名古屋によってどれが動くときが一番厳しいかというのは変わってきますので、この 3 つのうちのどれかが動いて、それぞれの地域に対して最も厳しい状態になった場合を想定最大ケースと呼んでいる。3 連動プラスどれかが動いた場合ということでございます。

先ほどと同じように、高さの異なる 3 種類の鉄骨造のモデル建物をつくりました。30 階建て、45 階建て、60 階建てということで、周期は 3.7 秒、5.4 秒、6.5 秒でございます。

こちらがまず愛知県庁波での速度応答スペクトルですけれども、標準ケースの場合は設計で使っている告示波が大体 80 カイン程度ですので、それよりも NS も EW もかなり下回っているということですが、想定最大ケースの場合には非常に大きなピークが 3 秒のところに見える。300 カインを超えるようなピークが出ている。EW の方向はもう少し小さいですけれども、告示の波を大きく上回るようなスペクトルが想定されているということでございます。

それに対して応答ですけれども、標準ケースに対する応答は設計クライテリアである 100 分の 1 を大きく下回るということで、これは特に問題はなかろうということですが、想定最大ケースの 3 連動＋トラフ沿いの波に対しては 100 分の 1 を超えるような場合も、30 階建ての場合には生じるということで、少し気をつけたほうがいいかなという結果になっています。

これは大阪の舞洲波、咲洲の横に舞洲というものがあるのですけれども、その波です。こちらの場合には標準ケースの場合でも告示波を周期帯によっても大きく超えてくるということございまして、想定最大ケースの場合にはピークで 700 カインという極めて大きなスペクトルになるという、こういう波がつけられています。それに対応して標準ケースの場合でも NS 方向の波を入れた場合に 30 階、45 階、60 階全て 100 分の 1 を超えてしまうということ、それから、想定最大ケースの場合には非常に大きな値で、20 分の 1 という層間変形角で、これは解析の精度がとても信頼できないような範囲に入ってきているものなので、この数字はあてにならないのですけれども、非常に大きな応答を示しますよということを行っているということでございます。

東京都庁波の場合には標準ケースがやや告示波を超えていますけれども、想定最大ケースの場合にはピークで350カインぐらいになる。それに対応しまして標準ケースの場合には100分の1をちょっと超えるぐらい、45階で少し超えるぐらいであるということですが、想定最大ケースの場合には50分の1くらいまでいってしまう可能性があるということがわかりました。

それを先ほどの判定表を用いて判定したものがこちらで、標準ケースの場合には薄いグリーンが少し見えるだけということですが、想定最大ケースの場合には軒並み非常に濃いグレーのところが目立つということで、特に舞洲などでは17分の1とか、累積塑性で235というのは非常に大きな値で、大体これが20とか30ぐらいを超えると梁端が破断するだろうということになりますので、その10倍ぐらいということになりますので、軒並みあちこちの梁が切れていることが想定されているということですが、

45階建ての場合には、標準ケースの場合には少しグレーのところはありますが、この程度で済んでいる。ただ、想定最大ケースの場合には、どの地域に建っていても共振すればかなりひどい状態になることがわかるものですが、

60階もほぼ同じような状況です。

以上をまとめますと、標準的な地震動である東海・東南海・南海3連動に対しましては、大阪舞洲などの地点で機能維持限界を超える可能性がありますけれども、多くの地点では機能維持レベルとか小損レベルと評価されていて、被害の広がりや限定的であるということなのですが、南海トラフ沿いのところまで考えたような想定最大ケースの地震動に対しましては、建物の階数によらず多くの地点で機能確保が困難な状態かつ損傷も大損レベルとなりまして、広い範囲で超高層建物に深刻な被害が発生する可能性があるということですが、

そういった意味で、実は大損レベルということに対しましては、超高層ビルは今まで当然地震で壊れた例がないので、超高層ビルってどういうふうになるのかよくわからないというのが、これは構造の専門家の中でも皆さん意見が分かれるところですが、そういった意味では大損レベルに至ったものがどういうふうになるのか。例えば落階するのだろうか、落階しなくて梁が破断するだけで済むのだろうかとか、そういったあたりは今後の研究課題ということもございまして、ちょうど文科省で5年間のプロジェクトが始まって、その辺のRC造と鉄骨造の超高層ビルの最終崩壊形、最後どういうふうになるかというあたりを実験的に確認しようではないかというプロジェクトも始まっておりますので、そういうところに大いに期待されることだと思います。

以上でございます。

○ありがとうございました。

私は85年のメキシコ地震のときに現地調査に行ったとき、40階建てのオフィスビルが完全に倒壊して、3棟高層ビルがあったのですが、2棟は残って1棟は完全に横倒しになって、傾いている建物の中を見たときは鉄骨が座屈して傾いていました。だからメ

キシコ地震の場合は周期 4 秒とか 5 秒というのが卓越して高層ビルを襲ったのだと思います。

御質問ありましたらお願いします。

○地震動なのですが、先ほど配付資料の 11 ページで最大ケースでトラフ沿いを動かしたときには、普通の短周期の強震動は余り変わらないかなと思ったのですが、長周期になると大分トラフ沿いを動かすと津波と同じようになり大きくなるということでしょうか。

○これをつくられたのは防災科研さんなので、どなたかいらっしゃいますかね。いらっしゃいませんね。

この場合には南海トラフ沿いの例えば東北地方の場合もそうですけれども、この部分というのは津波を起こすのだが、長周期に対してはそれほど影響はないだろうということがあるかと思うのですが、この場合にはかなりこちらのアスペリティと同じような条件を設定していると聞いています。したがって、先ほどのような非常に大きなスペクトルになっているのは、これと同じような条件でこれをすべらしたという条件でつくったものだと聞いています。こういうことがあり得るかどうかは私にはわかりません。

○津波地震ではなくて、長周期地震動地震みたいなものを想定したのですかね。

○だから、もう一度精査すると標準クラスに下がるということもあり得るかもしれないですね。

○ほかよろしいでしょうか。

それでは、大変わかりやすく御説明いただきまして、ありがとうございます。●●先生との話をあわせて考えてみますと、ここで長周期地震動を計算して公表するという意義が少しは理解できてきたような気もいたします。10 年前には余り考えなかったのですが、やはり今となっては計算しておくことは必要なのではないかと思います。

それでは、どうもありがとうございます。

続きまして、長周期地震動の検討についての議題に移ることにいたします。事務局より説明をお願いいたします。

○（事務局）それでは、非公開資料 1 を見ていただきたいと思います。それと、資料の一番後ろに前回の資料でございますが、第 26 回の非公開資料がございます。まず前回の資料で復習をしていきたいと思えます。

東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の再現について、いろいろな調査研究が行われていますが、その 1 つが大体おおむね 10 秒ぐらいまでの周期は、強震動生成域 SMGA から生成されているということで説明できるのではないかという研究がなされております。前回の第 26 回の資料の 1 ページからの部分でございますが、川辺らの研究によって秋の地震学会でもその続きの検討がされておりますけれども、まず 10 秒までぐらいは SMGA で再現できるのではないかと。

それよりも長い周期の部分は、そのほかの震源の長周期地震動を出した部分を割る必要がある。言い方を変えますとトラフ軸までの部分を割る必要がある。前回の資料の13ページはやや長い波を用いて解析された結果の部分でございますが、大きく動いた領域は海溝軸の近くまで及んでいる。左上のほうにある赤いような、こういうところに大きな地震波を出す部分があるので、これらを解析する必要があるのではないかと。

今回は赤い部分にターゲットを当てて、Yoshidaらのモデルをもとに解析してみたということでございます。応答スペクトル等を見てもみますと10秒より短いところについてはYoshidaらのモデルでは十分表現できていないので、仮に10秒より長いところまで整理するとすれば、SMGA、強震動生成域から出てくる波と、長周期の地震波を解析してつくられた断層モデルから出てくる波、その2つを足し合わせる必要があるということをお前回、御説明させていただきました。

南海トラフについては我々が持っているモデルはSMGAのモデルと、津波モデルでございますので、その津波モデルを用いて長周期の地震波についての検討をするということはどうかということをお、検討の1つのポイントとして精査を進めております。そのような形で内閣府でつくった東北地方太平洋沖地震の津波モデルをもとに、長周期の地震波を出すものを整理しておこうということ、その次の整理の過程でございますが、今回の27回非公開資料1がその資料でございます。

実際に長周期地震動を解析するに当たりまして、断層の割れ方をどういうふうにするのかということが大きな課題になります。4ページに断層のそれぞれの割れた、ある場所の断層の部分でございますが、破壊が起きてからどういうタイミングで割れ始めたのかということをお整理したものです。これに加えて最近の解析で、ほぼ短周期から長周期までを説明しているのではないかとおわれている額額さんらがやったものがあるのですが、その最新のものも入れて今、震源時間関数をどういうふうにするのかということをお整理しようと思っております。

従来の地震調査研究推進本部で検討されていた長周期の試作版では、この震源時間関数はSMGAでの解析で用いたのと同じく、中村・宮武らの震源時間関数をもとにしてございまして、前回資料の1ページ目を見ていただきますと、断層が動き始めた早いタイミングで大きく動いて、その後、ゆっくりすべっていくという関数が用いられておりました。

実際、東北地方太平洋沖地震での解析で見ると、4ページに示しますように早い段階で大きく割れるのではなくて、最初ゆっくり動いて後から大きく動いていくという形の断層の割れ方をしていることがわかります。これらを標準化するのにおどうするかということ、まだ1つのトライでございますが、5ページがその部分の1つですけれども、一番大きく割れたところを中心にして波を各断層の破壊の状況を重ねたものが5ページの上側の資料です。振幅は全部一番大きいところをノーマライズしておおりますので、結構でこぼこしておりますけれども、それらの平均をとって見たということ、平均をとってみますとある種、裾野を引きながら割れていく過程で最後大きく割れるという形になります。

モデルをつくる際には、こういう基本的に三角波をもとにして、それを重ねる形で震源解析をさせていただきますので、このような結果になるのは当然と言えば当然なのですが、これを標準化するに当たりまして5ページの下の図が標準の部分でございます。黒い線が上の紫の線と同じですが、こういうものをつくり出すのによく使われるベル型の関数を用意して、これと合せようとするとう幅が120秒のものと幅が20秒のものを重ねると、おおむねこういう形のものがつくれていくことがわかります。

こういうものをもとに断層が大きくすべったときに、この振幅を大きくする方法と、実はまだ今回頼頼らの結果も含めての整理ができていませんが、もう一つは大きく動くところは4ページを見ていただきますと点線などがそうですが、横幅が太く長くなってございますので、変位の大きいところはもっと太らせた形ですべらせるという関数をつくるという2つのトライがあるようですので、それを整理しておこうと思います。今回、入倉委員御欠席でございますが、少しこういう関数のつくりのところについては相談しながら、次回、幾つかの関数形を用意して、その関数形の違いによって長周期地震動がどう違うのかということの整理をしながら、最終的なモデルの検討に入りたいと思っています。

今回は5ページのことを参考にしながら、3つのケースを解析しました。

1ページ目に戻っていただきましてケース1、ケース2、ケース3とあります。東北地方太平洋沖地震の再現、津波モデルを用いた再現の部分として、ケース1は破壊開始そのものである場所を与えて、同心円状にどんどん破壊が進んでいく。それぞれのブロックはベル型の20秒の狭いほうだけですが、狭いほうの解析だけが割れるというもの。ケース2は先ほどつくった20秒と120秒を合せたもので、それぞれの断層が割れる。ケース3はまだトライの途中ですが、学会で川辺さんたちが解析をしていたものに30秒ぐらいを用いるとよく合うのではないかというものの発表がございましたので、その30秒のものを合せてやってみるとどうかということでケース3を想定してございます。

あわせて破壊をもう少し東北地方太平洋沖地震をきちんと合わせた形からケース1、ケース2を考えたほうが良いのではないかという御指摘もございましたので、そのトライをしているものがケース3ということでございます。解析結果を見ていただければと思います。

6ページに震源時間関数の違いによる波形の違いだけを少し簡単に挙げました。20秒のものと三角形の20秒のものという違いということで、似てはいます。赤と黒で書いております。三角形になると少し尖がりが出てくるので、そういう部分は短周期のところが強くなるような感じになります。

今回は10秒よりは短いところは、ほぼSMGAで解析できるという整理にしようと思っておりますので、特にこの三角形の尖がり強いものを使うよりはベル型を使って、10秒より長いところ全体を表現できるもののほうが良いのではないかということで、ベル型にしようとした理由が黒と赤の比較の部分でございます。

あとはベル型の 120 と 120 秒のものが緑で書いてございますが、割れるのが後ろに置いてございますので、割れるピークのところは後ろに来てございますが、スペクトル的にはおおむね似たような感じ、この程度に見えるということでございます。ピークのところは破壊時間の違いだと見ていただければと思います。

8 ページにそれらを解析したのですが、まず最初にケース 1 を載せてございます。3 ページを見ていただきますと 10 秒より短いところは SMGA の解析で整理ができますので、その 10 秒より短いところは SMGA を中心にして、10 秒より長いところ、実質的に前回、● ●委員から石油タンクの大きな構造物が首都圏の周辺にあるので、そういうところを意識して 20 秒ぐらいまでの波の計算をしておくのがいいのではないかという御指摘を受けましたので、10 秒を超えたところから 20 秒までのものを含めた検討をするわけですが、そうするとその 2 つのモデルを合わせた形での解析になりますので、それを合わせる形のマッチングフィルターが必要になるかなと。

そのマッチングフィルター、このような解析法は初めてでございますので、何秒ぐらいでしたらいいかということも 1 つの検討課題になります。ここは大体 15 秒ぐらいでマッチングさせるようなものをしてございますが、10 秒ぐらいから 15 秒ぐらいの間で、あるいはそれよりもう少し短いところでしたらいいのかとか、それらについても計算した波形を用意しながら、最終的にはどのフィルターを用いて整理するかということで御相談したいと思っております。

3 ページ、今回解析するのにマッチングフィルターの例でやってございます。断層の割るところ等について SMGA のものは川辺らのモデルを、津波のモデルを用いた解析は 2 ページの下のような形になってございます破壊開始を置いて、ざっくり試算した部分でございます。

8 ページ、ケース 1 の場合、差分法で解いたものと、マッチングをするためにローカットしたものが下の波形になっております。下の波形で見ていただきますと、ローカットしてございますので、短いほうをハイカットしているものと、SMGA から出た長いほうをカットするものと、それらのものを示しています。それぞれの場所のスペクトルを見ていただきますと、今回大きな全体パワーとしてはもとの観測データを越えたデータになっておりますので、津波モデルそのもので単純にこのケース 1 のような割り方をすると大きくなる。

資料としてケース 2 が 21 ページから。波形的にはやや後ろに来てなめらかに割れるようなものを用意しておりますが、最終変位のもので全部割っておりますので、トータルパワーとしてはやや大きくなったような形のものになっておりますが、おおむねこのぐらいの感じになるということで見いただければと思います。

ケース 3 は割り方を少し意識して、やや破壊過程も意識してみるとどのくらい合うかということをやったものですが、もう少し合わす調整が必要になるかもしれないという部分になりますけれども、ケース 3 がぴったり大体おおむね再現できたということでケース 1、ケース 2 のようなものを検討したいと思っておりますが、まだもとの観測データよりも

全体的に震源付近ではパワーが大きいような傾向が見られます。解析そのものは先ほどのとおりでございます。やや離れていきますと、大体似たようなパワーになっているかなということは 45 ページの関東のほうに来ると、上側の黒と赤を見ていただきますとおおむね似たような感じのものになっておりますので、やや近いところについては少し震源の割れ方だとか、破壊の仕方の関数によってかなり影響が大きいようですが、やや離れるとある一定のパワーがあれば、それをどのぐらいたたいたのかということで基本的には構造的な問題が起因しているように見えます。

ケース 2 でも同じような傾向が見られますので、ほんの少しケース 2 のほうが大きい、例えば 31 ページなどを見ていただきますと、ケース 2 においてでもほぼ赤と黒が重なったような資料になります。32 ページが取手ですので先ほどのものと比べていただきますと、震源の形は違いますが、パワー的にはおおむねこの程度のものになっているということで、構造が大きく効くところと、地震の割れ方が大きいところがあるようですので、震源時間関数を少し整理して、長周期地震動の解析に入る基本のモデルを整理してみたいと思います。今回はまだ最終形にできておりませんが、わかったこととして御紹介させていただきました。

以上でございます。

○それでは、御質問ありましたらお願いいたします。いかがでしょうか。

○確認なのですが、私の解釈では 2 ページにある SMGA モデルと津波を大きくつくった 2 つのモデルで、ここでの仮定は SMGA、強震動生成域モデルは主に 15 秒よりも短い地震動をここから大体出ている。15 秒よりも長周期の地震動は、むしろ津波モデルであらわされるこの 2 つは少し違うところから出ていると考えて、それぞれのモデルで違う周期帯の地震動を計算して、2 つを足し合わせて観測と比較をしたということですね。

それかうまくいけば、このように震源モデルを 2 つ周期帯によって分けて考えることによって、非常に広帯域の地震動を評価できると思うのですが、三十何ページのおしまいのほうを見てみると観測点とは全然合わない、長周期がものすごくでかくなり過ぎているということですね。ということは、これでは今のところだめだという判断でよろしいのでしょうか。

○（事務局）きょうの資料ではだめだと。おっしゃるとおりで、前回示した Yoshida らのモデルでいくと、実際に断層の割れ方を含めて全部整理をしていますので、長周期のところまでは大体全部合っている。実際に津波のモデルと Yoshida らのモデルはほぼ類似のような割れ方をしてございますので、その津波モデルを用いて大体おおむね Yoshida らと同じような結果が出るような形をまず 1 回つくってみよう。それで次に我々南海トラフに適用したときに知っているのは、どうやって割れていったかの細かい破壊過程まで知らないで、破壊開始点を決めてそこから順次割れていくとすると、どのぐらいの差があるのかということがわかる資料を東北地方で整理して、その中で南海トラフに当てはめる長周期モデルとしては、こういうモデルでどうでしょうかということと比較しながら決めたい。

その際に今、委員から言われたように、全然合っていない東北地方のものを示しても何をやっているかわからないので、おおむね合ったということをつくって、このモデルはこういう考え方でやったらどうだろうかということで、南海トラフに適用したということです。きょうはちょっとまだ十分でない、パワーがやや大きいかなと。

○前回までのこの評価のところでは、SMGA、強震動生成域モデルで10秒ぐらいまではうまく説明できる。だから10秒ぐらいの長周期地震動であれば今回の震源モデルのうちのSMGAのところだけでうまくいきそうである。これをそのまま南海トラフに当てはめるかもしれない。けれども、もう少し長い周期帯を考えるとこれでは不十分で、津波をつくった浅いところの大きなすべりをどう扱うのかということですね。今それを素直に入るとすさまじい長周期が出てくるので、どうしたものかと。この浅い部分の扱いをどうするかということですね。

○（事務局）●●からの御説明の外側のところの動いたのと同じようなところ、割と大きく動かしてしまっているのもう少しゆっくり動くようなものにしないと東北地方の再現はできないようだと。そういうことを含めて震源時間関数とか、そういうことをもう少し整理する必要があるかと。

○まずは東北地方太平洋沖地震の再現で、この浅部プレート境界すべりの大すべりを正しく評価するというのがまず前提で、次に南海トラフの場合はそれをどうするのかというのは、また次の課題ということですね。

○（事務局）次回には少し東北地方のモデルを示して、一度御議論いただけるようなものにしたいと思っています。

○質問で、今の●●委員に関連するのですが、私もよくわかっていないのですけれども、例えばケースで遠いところ、例えば取手は32ページと45ページを比べると、ケース1だと上を見ると明らかにピークが早過ぎる。ケース2とか3にすると遅れたピークが再現できているのですが、このケースの違いがよくわからなくて、1は20秒、3は20秒に加えて遅らせた。この2は5ページを見ると20と120が同じところにピークを持って重なっているようなのですけれども、そうですか。それでどうして遅れたのが表現できるのかよくわからない。

○（事務局）5ページを見ていただけますか。横軸の時間は余り正しい時間ではないのですが、地震が動き始めると100のところをゼロとして、120のところから断層が動き始めて、それで40秒ほどたってからぐんと動くので、この40秒でできていると思っていただいたら。

○それはわかっているのですけれども、そのときの20秒というのはどこに加算するのですか。ピークが来るように加算するのですか。

○（事務局）はい。

○そうすると、ケース1とケース2の20秒というのは意味がかなり違うのですね。スタート時間が違うのですね。

○（事務局）スタート時間が、山がぐっと前に行っているものと。

○わかりました。

ケース3の場合は、20秒はどこにあるのですか。

○（事務局）ケース3の場合はYoshidaらのモデルを意識して、断層ごとの割れを遅らせたので、比較的合うようにしたのがケース3なのですが、それでもちょっと関数形の違いで少し波形の合いがよくない。

○ケース3の20秒というのは、ケース1の20秒より遅れているということですね。わかりました。

○よろしいでしょうか。既に起きた地震でもなかなかわからないのに、これから起こる地震でどのような波が出るかというのは起きてみないとわからないので、困りますね。

それでは、しばらく事務局の努力をお願いしたいと思います。この長周期地震動はいつごろまでやるのでしょうか。12月いっぱいぐらいで終わりますか。

○（事務局）12月いっぱいぐらいモデルが、関数形がフィックスできれば、あとは計算に入って12月中にはおおむね成果を確認いただいて、最終的には翌月になるかもしれません。

○というスケジュールだそうでございます。

それでは、最後の議題としまして過去地震の震度、津波の痕跡高に関して審議を行いたいと思います。事務局より説明をお願いいたします。

○（事務局）過去地震の震度データと津波の高さのデータ等を収集しました。それをもとに新しい収集されたデータを含めて、2003年のときのモデルを新しいプレート境界モデルで整理し直しておいたほうが良いという御指摘を受けておりますので、その作業の準備をしておるところでございます。

まず非公開資料2で震度データを見ていただければと思います。2ページに新しく整理した地震で5地震と書いてございますが、これは宝永以降の宝永地震、安政の東海、南海、昭和の東南海、南海の5つの地震の震度分布を、大きいものが一番上になるようにして重ねて書いたものです。これが5地震を重ねたいわゆる再現すべきモデルとして、2003年と同様にこのような震度分布を再現するモデルを整理しようと思っております。

従来、2003年のときに比べて徳島付近の震度がやや強くなったり、わずかですが、データがふえてございますので、そういう部分も含めてうまく再現できるかどうかということが論点だろうかと思います。

3ページにそのデータを工学基盤上に戻したものの、現在使っている地盤の増幅率をもとに工学基盤上でデータを整理しようとしておりますが、工学基盤上に戻したものが3ページでございます。工学基盤上に戻しましても、それなりに強い場所とそうでない場所というのが見られると思います。

このデータを元に戻すことをするのですが、戻す際にはもう少し面的に広がりを持つような形で、いわゆる補間をする形で見てみようということで見えたのが4ページです。3ペ

ージの資料をもとに単純にざっと戻す作業をしていますと、ややぼけた感じになりますが、こういう資料になって工学的基盤の震度を空間的に補間したデータをつくって、それに合せ込むようにしてモデルをつくろうと思っております。

ただ、全体に弱めになっている3ページの上側を見ていただきますと、もう少し強いものを残さなければいけないところが消えているようですので、その補間のところを整理することと、過去の資料の整理を見るとデータがないところを含めておおむね震度6あるいは震度5、震度6と5の境界あるいは震度4と5の境界、宇佐美先生らが整理した資料をもとに見てみますと、それらについておおむね境界が書かれていますので、そういう境界データも用いて少し整理をしたいと思っております。

今、画面に出していますが、単純化した境界のものを入れて、これは単純に境界で色分けをしたものになってございますが、●●先生らが整理されたコンターをもとに見てみると、こういうふうになるようだ。ただ、もう少し中国山脈あたりにまで境界を延ばしたほうがいいのではないかという資料もありますので、この境界についてはもう少し整理を試みようと思っておりますが、この境界データと個々のポイントデータとあわせて再現するモデルの工学基盤上の資料を整理しておこうと思っております。これについても次回、最終的にこれですということをあわせて提示して、地震動の再現モデルを早急に計算したいと思っております。これが震度の資料でございます。

津波のほうでございますが、津波について最新の資料をもとに新たなデータも含めて整理をするという部分でつくったものでございます。

1ページと2ページに違うグラフのものを書いてございますが、1ページ、2ページは宝永以降ではなくて明応以降のデータを入れてございます。明応の地震がやや大きいというのがあります。どのくらい違うのかということを見るためにも参考までに明応を整理できればと思っておりますし、一応明応を入れておりますが、2003年のモデルとしては明応を抜いたデータとして3ページ、4ページ、これが最終的に2003年を再現するための基データということで整理しております。ただ、3ページと4ページで異なるのは、3ページは前回のやり方と同じでございまして、宝永、安政の東海、東南海、昭和の東南海、南海を全部プロットして、その一番高いところだけを折れ線で結んで、この一番高いところを結んだ折れ線を再現するモデルを検討したのが前回でございます。

4ページは実はどうも昭和の東南海、南海はやや小さいのではないかとと言われておりますので、昭和のデータのほうが地点的に広く拾っております。広く拾ったところを入れてつくと本来もっと高かったにもかかわらず、低くしてしまっている可能性があるということで、昭和のデータだけを除いてその折れ線で結んだのが4ページでございます。全体にちょっと上になりますので、ターゲットデータとしてはこちらにしたほうがいいのかも思えないと思ひながら、2つの資料をもとに整理を試みたいと思っております。

ただ、4ページの真ん中ぐらいですが、熊野あたり、串本付近、淡路のあたりにやや昭和のほうが大きいポイントが出ております。ほかのところはそう余り変わらないのですが、

熊野のところはややでかいので、これが正しいかどうかの確認をしたところ、正しいデータだという回答しか来なかったものですから、実際に再現してみても本当にここにこういう波が来てもおかしくないのか、周りから見て異常かどうか、そういうことも点検するために4ページはとりあえず昭和のものを除いて、3ページは全部を入れたものということで2つを試算してみて、データの信頼性をモデルのほうから見ても点検しながら最終的なモデルづくりに入りたいと思っております。

資料としてはこれらのデータを用いるということです。

実際におかしなデータだということで、東北大学の中で特に異常値として削除しておいたほうがよいだろうとしたデータだけを少し説明しておきますと、5ページにそれを書いておりますが、大きな異常なデータがあったところは陸のかなり中のほうに書いているところがありますので、プロットの間所も含めながらということで、こういうデータについては対象外にしたということでございます。

八丈のデータについては、もともとデータベースの中に入っていたものが大きいので対象外にしたのですが、●●先生たちの調査結果の部分はもう一つ前の慶長の部分の調査結果だったので、結局宝永についての調査結果が今ない形になっております。計算する中で少し外側のデータがあったほうがいいのかどうかは、一度整理する中でまた検討したいと思っておりますが、とりあえず今、宝永以降で見た際には八丈のデータも対象外ということで整理をしようと思っております。

6ページにはそれぞれの地震ごとのデータを示したものを載せてございますが、最終的に使うものは今のもの。それから、最後これらの計算結果を合わせ込む際に、モデルとしては10ページに地殻変動の資料がございますが、こういう地殻変動データを説明できるようなモデルになっていること。それから、それぞれ宝永、安政、昭和のものを10ページ、11ページに入れてございますが、地殻変動データが説明できること、それから、津波堆積物のデータについては最低限その場所プラス2mとしてございますが、それも一応説明できることということで、これらの資料も加えて宝永地震以降だけのものを12ページに書いてございますが、宝永以降の津波堆積物に相当するものについても、この最大の中で取り込めるようにして資料を整理しようと思っております。

まだ資料の整理の段階でございますが、資料の整理の仕方としてはこういうふうにしたと思います。どうでしょうかということで説明させていただきました。

以上です。

○それでは、震度と津波の高さについての資料整理について御意見、御質問ありましたらお願いいたします。

○津波の6ページですけれども、慶長は今回除いているのかもしれないのですが、慶長の外房の津波というのはどう考えるのですか。

○（事務局）今回まだよく整理していないので、どこかでまた。

○これは南海で放置したとしても、首都直下でよみがえってくる可能性があるのではないか。

○（事務局）とりあえず慶長は今回除いていますが、今後の捉え方などを含めてどうするか。

●●先生たちの検討会の中で、案で示されていたモデルは2つのモデルで説明するモデルの説明がありましたが、太平洋側で起きた地震と南海トラフ側で起きた地震の、その2つを合せないとどうも説明ができないという紹介がありましたけれども、論文になっているかどうかまではよくわかっていません。

●●先生が解析されたときは、この房総の外側は。

○とても南海トラフの地震ではこの津波は出ません。これは相模トラフの地震を考えないと無理で、むしろ房総の津波の史料は古文書と言ったって軍記物ですからね。東北大学のデータベースの中でも信頼度はDに入れてあって、否定できないから残っているというぐらいのものではないかと思うのですが。

○信頼度という意味だと慶長はほとんど全部信頼が低いのです。だから、これだけが低いというわけではない。

○特にこの房総のもともとの出典の古文書を見ると、それがかなり伝聞であるし、そこに書かれていることが余りにも詳細過ぎて、それは既に東大出版の緑の本で完全に否定されていますし、でもそれを超えるような発見が何か最近あったのかどうか、そこはわかりません。

○（事務局）こちらの検討では、とりあえず対象外にしておこうと思います。

○ここは本当に重要で、既往最大の地震の波源域を南海トラフを越えて相模トラフまで持ってこなければいけなくなってしまうので、●●委員のおっしゃったように首都直下にも効いてきますから、これは何とかしていただけたらと思います。

○別の質問よろしいですか。震度のほうなのですけれども、教えていただきたいのですが、過去の地震ですね。だから古文書とかいろんなそういうものですね。そうした場合に震度6弱、6強、5強、5弱という分け方は最近までなかったもので、そういうデータはあるのでしょうか。

○（事務局）●●先生らの資料の整理の中で、対比できる形の資料整理がありましたので、その形で整理をしています。

○そういうものは全然結構です。できたら出典とか参考文献を書いていただくとわかりやすいです。

○（事務局）中間報告のときに用意していたのですが、机上の中に余り古いものはないようですので、次回、出典のところを含めて整理の考え方を示したいと思います。

○震度の4ページの図ですけれども、これを計算するときには5つの地震についてデータに重みをつけたりとか、そういうことはやっていないのですか。

○（事務局）一応そういう整理は必要かなと思っています。

○津波のほうは昭和を除いたりしていますね、見比べているのですけれども。○（事務局）弱過ぎるところがあって、引っ張られるかもしれない。

○そういう懸念があるのですけれども、その辺は。

○（事務局）先ほどもこちら側で示したコンターの部分とあわせて、とり方をどういうふうにとるか整理したいと思います。昭和のデータが弱過ぎるところが入っていて、全体を下げている可能性もあります。ちょっとそれはコンター部分とあわせて見てみたいと思います。

○震度から基盤に戻すプロセスなのですが、もともと集落はとてもよい地盤にずっとありましたね。それは基本的に余り揺れない場所の集落の家屋被害データからこの震度は出ているはずだと思うのです。

一方で 2003 年モデルは、1 km メッシュの中で一番揺れの増幅度が強いものを出す形で増幅度をつくっているのです、余り揺れない場所での家屋被害データから出した震度に基づいて、よく揺れる増幅度で戻してしまうと、震源を随分過小評価してしまう可能性があって、その後でもう一回、今度は高解像度で戻してくるので揺れない場所がいっぱい出てしまうということがあり得る気がするのです。ですから、そのあたりで我々が人工的に揺れを過小評価しているかどうかぐらいは、ちょっとチェックしたほうがいいかなという気がしました。

○（事務局）大阪が随分被害があって。

○大阪はもともとだめなところに住んでいるので。

○（事務局）時代とともに、どうもだめなところに最近住んでいるので被害が大きいということがわかったのですが、今のことも含めて。

○ひょっとしたら結構影響があるかもしれないので。

○よろしいでしょうか。それでは、特にないようでございますので、きょうは少し早めに終えることとなりますが、全体を通して何か言い残したことがありましたらお受けいたします。

特にないようでございますので、これにて今日の議事を終了することにいたします。事務局のほうお願いいたします。

○藤山（事務局） どうもありがとうございました。

次回は配付しております開催予定に記載しております、11月22日15時からを予定しております。どうぞよろしくお願いいたします。

では、これをもちましてきょうの会合を終了いたします。どうもありがとうございました。