

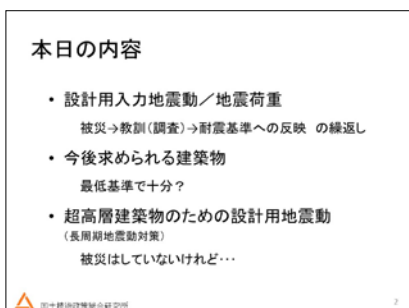
## 5.1 建築物の設計用入力地震動の考え方

(国土技術政策総合研究所 建築研究部建築新技術統括研究官 小山 信)



ありがとうございます。

建築研究部の小山と申します。「建築物の設計用入力地震動の考え方」ということを御紹介いたします。



内容ですけれども、設計用入力地震動、地震荷重が1つ目、2つ目が、今後求められる建築物、3つ目、超高層建築物のための設計用入力地震動になります。



この図は、1855年安政江戸地震の後に刷られた錦絵です。地震を引き起こすと言われた大ナマズをまないたの上に載っけて、江戸庶民が各自道具を手に打ちのめして退治するという図柄になっております。当時の家は木と紙でできておりましたので、大地震が発生いた

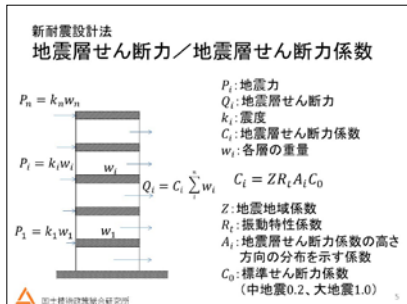
しますと、震動によって倒壊し、その後の火災で焼き尽くされたりしたわけです。



こちらは、我が国の被害地震と建築物に関する耐震規定などの変遷をまとめてございます。左のほうは、1891年の濃尾地震から2011年の東北地方太平洋沖地震まで、右のほうは、100年前、1919年に制定された市街地建築物法の制定からの規定の変遷が書かれています。この図を見ますと、このように地震被害を

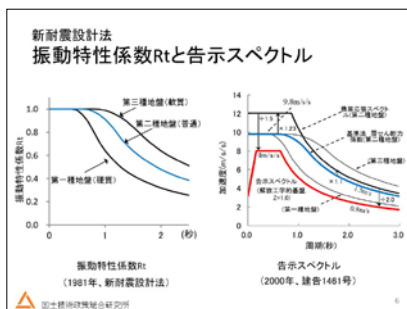
経験してきて耐震規定が改正されるという関係が見てとれます。この中の市街地建築物法ですが、これは自重などに対するの安全性を確認する規定です。これの後、1923年関東地震におきまして甚大な被害が生じたことから、設計震度0.1の耐震規定が導入、追

加されました。その後も、地震被害を受けて1950年には基準法が制定されまして、81年には現在も使われております新耐震設計法の導入が行われました。そして1995年兵庫県南部地震の後には、建築物の耐震改修に関する法律の制定、その後2000年には、応答変位を計算する新しい設計法であります限界耐力計算法、それと告示スペクトルというものが導入されました。



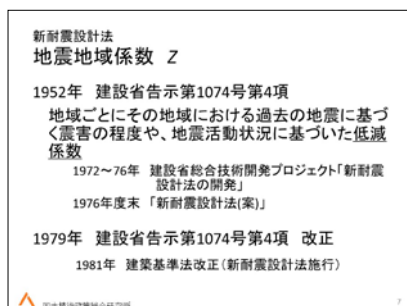
こちらは新耐震設計法での地震の力について説明しています。まず、設計に用いる水平力、地震層せん断力はこの式で与えられます。この中にCi、これは地震層せん断力係数というんですけども、この式がこの形になりまして、ここにZ地震地域係数、Rt震動特性係数、

それとCo標準せん断力係数が入っています。標準せん断力係数は一次設計の中地震では0.2、二次設計の大地震では1.0の値をとります。



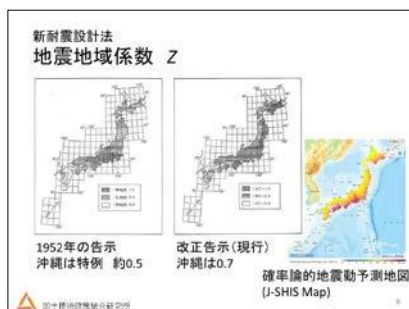
こちらは、まず左のほうですね。Rt震動特性曲線について示してあります。この横軸が建物の固有周期でして、短周期部分では1.0、それが周期が長くなりますと、地盤種別に応じて異なった曲線で落ちていきます。このRtに先ほどの標準せん断力係数を掛けたものがベ

ースシアスペクトルと考えることができます。右の図はこの第2種地盤のRt曲線にCo1.0を掛けたベースシア係数、これとこの赤い告示スペクトルの関係を示しています。このベースシア係数は静的なものですので、これを動的な加速度スペクトルに変換し、さらに表層地盤における増幅部分を割り引くことでこの工学的基盤で規定される告示スペクトルが得られます。告示スペクトルのこの右下がりの部分は、速度で一定の領域なんですけど、この値0.8メートル毎秒になります。この数値は後ほどまた出てまいります。

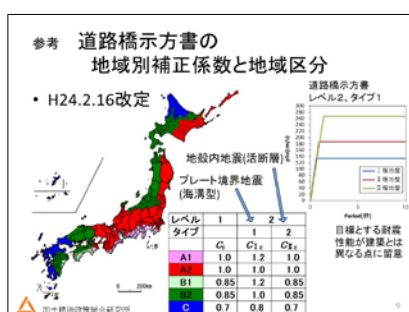


こちらでは、地震地域係数を説明しています。地震地域係数は1952年に制定されました。これは、その地域における過去の地震に基づいた震害の程度、あと、地震活動に基づいたいわゆる低減係数として定められておりまして、将来起こる地震動の強さの大小を示しているものではございません。この係数は、建設省の総プロを

受けて79年に改正がされてございます。



これは改正前の図、これは改正後の現在まで使われている図、そして右下は将来起こるであろう地震動の期待値をあらわす確率論的地震動予測地図になります。この現在の地図で1.0の値は、北海道から関西にかけて太平洋側にありまして、そのほか0.9、0.8の地域、あと沖縄は特例として0.7に下がっています。この地域係数の図とこちらの地図、図を比べますと、例えば四国のあたりですと0.9。1.0よりも低い値が定まっていますが、確率論的予測地図では真っ赤で一番強い値となっています。このようにこの2つでは値が一致しないところが幾つかございます。



す。

今後求められる建築物

**建築基準法 第1条(目的)**

第一条 この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もつて公共の福祉の増進に資することを目的とする。

**憲法 第29条(財産権)**

第二十九条 財産権は、これを侵してはならない。

2 財産権の内容は、公共の福祉に適合するやうに、法律でこれを定める。

3 私有財産は、正当な補償の下に、これを公共のために用ひることができる。

今度、このスライドから2つ目の話題に移りまして、今後求められる建築物について御紹介いたします。我が国の建築物というのは、全て建築基準法と関係規定に従って建設されております。建築基準法では、その第1条でこの法律は最低基準を定めとありますように、全ての建築物が遵守すべき最低の基準であるということが述べられています。この背景にありますのは、建築物は財産権に保護されておりまして、どのようなものをつくることも自由であるんですが、一たび地震で倒壊したり、火災が発生したりしますとその影響は所有者だけに限らず周りに及びます。そこで、この財産権に最低限の制限を加えて国民の利益が侵害されることを未然に防ぐという趣旨で制定されたのが、この建築基準法であるといえます。

これは改正前の図、これは改正後の現在まで使われている図、そして右下は将来起こるであろう地震動の期待値をあらわす確率論的地震動予測地図になります。この現在の地図で1.0の値は、北海道から関西にかけて太平洋側にありまして、そのほか0.9、0.8の地域、あと沖縄は特例として0.7に下がっています。この地域

こちらは、道路橋示方書の地域別補正係数を示しています。区域におきましてはA、B、Cの3区域、この3区域の区域分けは先ほどの建築の区域分けと同じでございます。ただ、レベル2の地震動におきましては、プレート境界と地殻内地震を区別して細かく係数を与えするという、建築よりも詳細なスペクトルを規定してございま

今度、このスライドから2つ目の話題に移りまして、今後求められる建築物について御紹介いたします。我が国の建築物というのは、全て建築基準法と関係規定に従って建設されております。建築基準法では、その第1条でこの法律は最低基準を定めとありますように、全ての建築物が遵守すべき最低の基準であるということが述べ

今後求められる建築物

### 現行耐震基準の要求性能

最低基準である建築基準法が要求するもの

- ・ 稀に発生する地震<sup>(\*)</sup>に対して損傷しない  
→ 建物の修復が不要で、ほぼ継続使用が可能  
\* ) 建物使用期間中に数回遭遇する程度の地震
- ・ 極稀に発生する地震<sup>(\*\*)</sup>に対して倒壊・崩壊しない  
→ 人命を守る  
\*\* ) 建物共用期間中に一度遭遇するかもしれない程度の地震

国土建研建築研究所 11

### 1995年兵庫県南部地震 RC造新耐震建築物の損傷

倒壊は免れ人命を守ったが、柱・はり・柱はり接合部の損傷が極めて大きく、その修復費用が莫大であったため取り壊され建て直された

国土建研建築研究所 12

されて建て直されました。

### 2011年東北地方太平洋沖地震

庁舎や共同住宅に損傷や変形等が発生

これらにより

- ① 災害活動の拠点や生活の場である建築物の継続使用が困難に
- ② 損傷の修復に時間と費用を要し、円滑な復旧・復興の妨げに

国土建研建築研究所 13

つかございました。これらのように建築基準法が要求する最低限の性能では、被災後の生活や復旧、さらにBCPなどの観点から、十分とは言えないということがわかつて思います。

### 今後求められる建築物

- ・ 建築物の地震後の継続使用性を確保する
- ・ 地震により低下した機能を如何に迅速に回復させる
- ・ 不確定要因に対する適度な余裕の設定

建築物の地震時荷重—変形関係

国土建研建築研究所 14

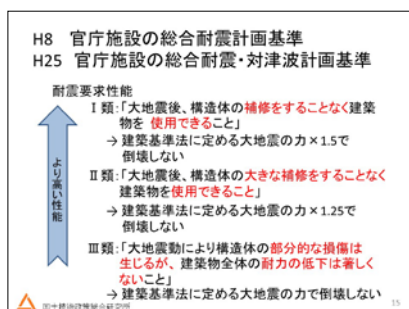
そこで、今後求められる建築物は建築基準法に定められる最低限の基準に加えまして、建築物の地震後の継続使用性を確保する、あるいは地震により低下した機能をいかに迅速に回復させる、不確定要素に対する適度な余裕の設定といったことも重要になります。この図で説明しますと、建築基準法で求めている性能というのはこの実線なんですけど、これに対して、この点線のように性能を上げることで極稀な地震に対しても損傷限界にとどめて、継続使用性が確保できたり、また変形性能を確保して安全限界を上げることで、不確定な入力地震動に対応するということが考えられます。

この建築基準法の下で要求される耐震基準には、2つのレベルがございます。1つは、稀に発生する地震に対して損傷しないこと。もう1つが、極稀に発生する地震に対して倒壊、崩壊しない、人命を守ることになります。

これは1995年の兵庫県南部地震で被災しました新耐震設計法で建てられたRC造の共同住宅です。この写真で見ますように、中破程度の被害を受けています。中破ですので倒壊しておらず人命は守っておりますけれども、この構造体、柱、梁、あるいは接合部の被害が甚大でありまして、結局その修復費用が莫大だったために取り壊

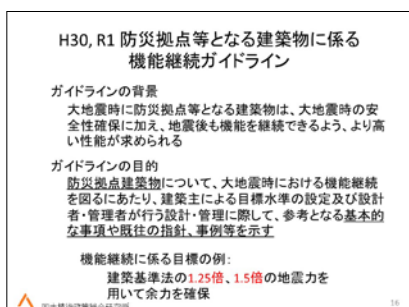
また、こちらは2011年東北地方太平洋沖地震の際の共同住宅の間仕切り壁等に見られた損傷です。間仕切り壁は構造体ではありませんので、当然建物が倒壊ということは生じていないんですけども、建築物が継続使用することが困難になってその修復にも費用を要し、また復旧、復興の妨げになることから取り壊されるものも幾

つかございました。これらのように建築基準法が要求する最低限の性能では、被災後の生活や復旧、さらにBCPなどの観点から、十分とは言えないということがわかつて思います。



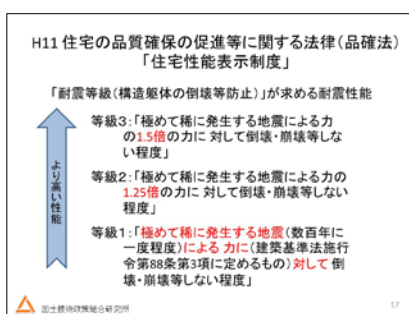
このような観点に立ちまして、1995年兵庫県南部地震の後、建設省では、災害応急対策活動の拠点として機能を十分発揮できるように、官庁施設の総合耐震計画基準を定めました。この中で、官庁施設の防災上の機能及び用途に応じまして、耐震安全の目標をⅠ類からⅢ類に分類し、それらの目標を達成するためにⅢ類の場合

すと建築基準法に定める大地震の力で倒壊しない程度の性能を、またⅡ類及びⅠ類では、その大地震の力の1.25倍、あるいは1.5倍でも倒壊しない性能を求めています。



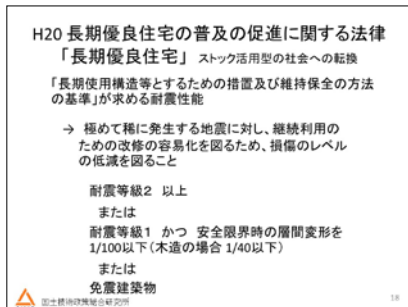
また、平成30年度には防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドラインを取りまとめてあります。3年前の熊本地震でも顕著に現れましたけれども、地震時に防災拠点となる建築物が、構造体の部分的な損傷や、あと、非構造部材の落下などによって機能継続が困難になったという例が見られました。そこで、この防災拠点と

なる建築物が地震後も機能を継続できるように、建築主や設計、管理を行う者にとって参考となるような基本的な事項や既往の指針、事例等を取りまとめてございます。例えば機能継続にかかる目標設定に当たりましては、建築基準法で定める地震力の1.25倍とか、1.5倍の地震力を設計に用いて余力を十分に確保するといったこととなります。



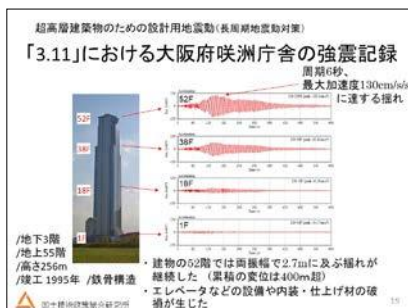
また一方、民間建築物に関しましては、品確法と略して呼ばれます住宅品質確保の促進に関する法律というのが、平成11年度に制定されております。この制度の中、住宅性能表示制度では、構造躯体の倒壊防止の性能を示すための物差しとして、耐震等級というものを設けました。それで耐震等級1というのは、極めて稀に発生

する地震、それに対して倒壊、崩壊しない程度の性能を求めています。耐震等級2、3は、耐震等級1で考える地震力の1.25倍、または1.5倍の力に対して倒壊、崩壊しない程度の性能を求めているものです。この住宅性能表示の評価書を取得した住宅に関しては、耐震性能の等級に応じて地震保険の割引を受けるといったことができます。



また、平成20年度には、長期優良住宅の普及の促進に関する法律というのが定められました。これは、いいものを長く大切に使うというストック活用型社会への転換を目的としておりまして、長期にわたり良好な状態で使用するための措置が講じられた住宅、いわゆる長期優良住宅の普及を目指しています。この長期優良住宅に求

める耐震性としては、極めて稀に発生する地震の損傷レベルを低減することを目的に、品確法でいうところの耐震等級2以上、または耐震等級1かつ安全限界時の層間変形は100分の1以下、または免震建築物、そのどれかであるというふうになっています。この長期優良住宅の認定を受けた住宅は、住宅ローン減税等で税制面の特例措置を受けることが可能になってまいります。



次に、3つ目の話題、超高層建築物における設計用地震動について御紹介いたします。

2011年の東北地方太平洋沖地震では、震源から遠く離れた大阪湾に建つ日本で4番目に高い超高層建築物である大阪府咲洲庁舎が、長時間続いた長周期地震動で共振をいたしまして大きく揺すられました。このような

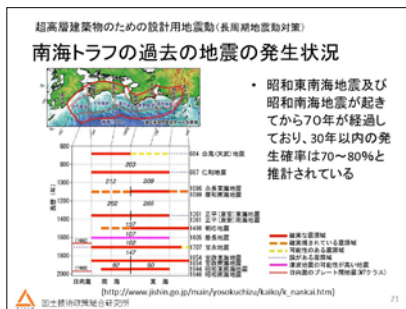
波形になります。52階においての最大加速度は130ガルに達しました。変位では両振幅で2.7メートルに及ぶような震動になりました。このような震動が数分間続いたしまして、累積の変異は400メートルを超えるような値になりました。この結果、エレベーターの設備とか、あと内装仕上げ材には被害が生じてございます。なお、この際、気象庁が発表した大阪市の震度というのは、震度3になっていました。



その長周期地震動ですが、一体どのようなものかといいますと、その名前のおりに長周期成分が卓越します。建築で考える周期は、2秒から10秒程度になります。規模の大きな地震、東北地方太平洋沖地震のような地震で発生しやすく、震源から遠方まで弱くならず伝播して、その伝播した先にある大都市、大阪とか東京とか

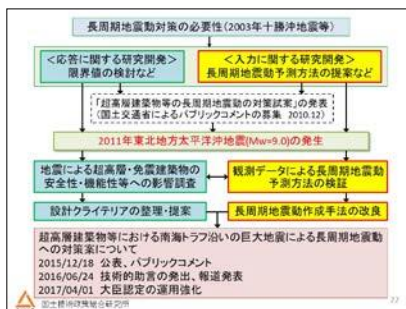
ですね。そういったところの地下構造で揺れが増幅されて継続時間が長くなります。この長周期地震動によっては、2003年十勝沖地震では、苫小牧でタンク火災が発生しまし

たし、また、東北地方太平洋沖地震では、超高層ビルが大きく揺すられるような影像がテレビ等でも取り上げられておりました。



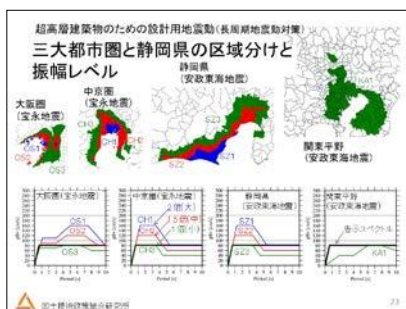
この長周期地震動が起こりやすい規模の大きな地震には、例えば南海トラフの巨大地震がございます。東北地方太平洋沖地震の後、内閣府や地震本部では、この南海トラフの巨大地震についていろいろな検討を行ってございます。この下に示しましたように、南海トラフでは歴史地震を含めて100年から200年間隔で発生してござ

います。最後に発生したのはここですね。1946年ですので、今年で73年になります。地震本部によりますと、今後30年間の南海トラフでの巨大地震の発生確率は、70%から80%程度と推計されてございます。なお、この長周期地震動の影響を受けやすい超高層建築物等、免震建築物等が日本で建設されたのは1950年代以降ですので、この南海トラフ地震の洗礼は受けておりません。



このような長周期地震動対しまして、国土交通省としては2003年の十勝沖地震の後に、応答や入力に関する課題を立てまして、検討を取りまとめ、その成果を2010年12月に「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」として発表しました。それについてのパブリックコメントを行っているさなかに、2011

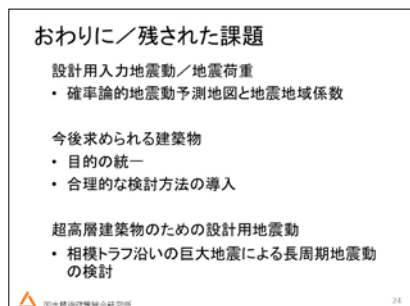
年の東北地方太平洋沖地震が発生いたしました。そこで改めて課題を立て、成果を取りまとめ、その結果、2016年6月24日に技術的助言を發出しまして、2017年の4月から超高層建築物等の構造方法に関する性能を評価する大臣認定の運用が強化されております。



こちらは、その運用が強化された地域と設計スペクトルを示してございます。南海トラフ地震の場合ですと、長周期地震動は東京、中京、大阪の3大都市圏と、あと、断層直上の静岡で大きくなることがわかりました。よって、この4つの区域について区域分けと、それと振幅スペクトルを定めました。この中で静岡、中京、大阪には

この青い色がついているところがございます、ここはレベルが最も高いところで、下のス

ペクトルを見ていただきますと、この青いレベルは160カンイになってございます。この160カンイという値は、初めのほうで紹介いたしました告示スペクトルの値80カンイの倍の値になってございます。ここに示すような長周期地震動特性を考慮いたしまして、長周期建築物に過大な応答が生じることがないように適切な対応策がとられることが期待されてございます。



最後になりますが、本日御紹介いたしました内容に関して残された課題を示して終わりにします。

一番上、設計用入力地震動、地震荷重につきましては、地震本部が毎年更新する確率論的地震動予測地図と地震地域係数との整合の説明が必要と考えてございます。

あと、今後求められる建築物につきましては、いろいろな基準やガイドラインを策定してございましたけれども、相互の目的や定義を統一すること、そのためにも変形能力も含めました合理的な検討方法の導入というのが必要と考えております。

3つ目、超高層建築物の設計入力地震動につきましては、現在内閣府が相模トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動の検討というのを行ってございまして、それが取りまとまった後には、国交省としましても、それに対する対応をとることが必要になってまいります。



以上、御清聴ありがとうございました。