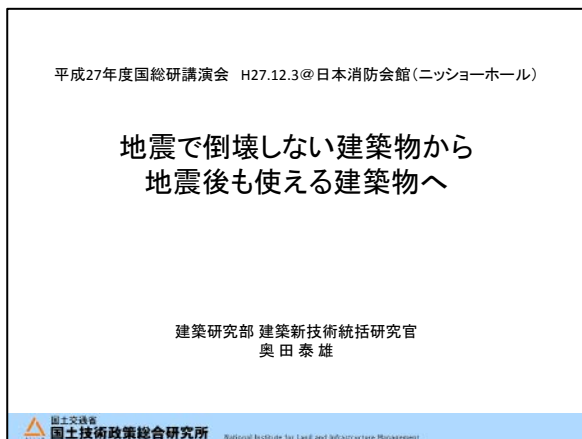


### 3.4 地震で倒壊しない建築物から地震後も使える建築物へ (建築研究部建築新技術統括研究官 奥田 泰雄)



皆さん、こんにちは。建築研究部の奥田でございます。「地震で倒壊しない建築物から地震後も使える建築物へ」という題で発表させていただきます。



この写真は京大の中島先生からご提供いただいたものですが、阪神大震災での RC 造の建物の被害の事例です。右側の建物の 3 階部分が層崩壊しています。この建物は 1981 年前に竣工した建物です。左側の建物が 1981 年後に、いわゆる新耐震で設計された建物で、こちらは倒壊していない。ほぼ同じような形状の RC 造の建物ですけれども、このような被害に大きな差が出たということがわかります。



ただし、この左側の建物の内部はこのように大きな被害が発生していたということがわかります。

最低基準である**建築基準法**が要求すること  
大地震に対して、建築物内部が損傷を受けても、**建築物は倒壊せず**、室内にいる人命を守ること

国土交通省  
国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 3

そのような意味で、最低基準である建築基準法では、このような大地震に対して建築物内部がたとえ損傷を受けたとしても、建物全体としては倒壊せずに、室内にいる人命を守ることが最低基準として求められているところでございます。

東日本大震災(2011年3月11日)では、庁舎や共同住宅に損傷や変形等が発生



これにより...

- 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

国土交通省  
国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 4

また4年前の東日本大震災での事例ですが、庁舎や、あるいは共同住宅にこのような損傷、あるいは大きな変形が発生している事例があります。このときも、いわゆる新耐震の建築物で倒壊といった被害は確認されてはいないのですけれども、非構造材でのこのような被害、あるいは扉等の被害が出て、実際に建物として継続使用が困難になったという事例が報告されています。

最低基準である**建築基準法**が要求すること  
大地震に対して、建築物内部が損傷を受けても、**建築物は倒壊せず**、室内にいる人命を守ること

総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」の目標  
大地震に対して、建築物が倒壊しないだけでなく、建築物の**機能が継続**するように、建築物の**損傷を制御**する

国土交通省  
国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 5

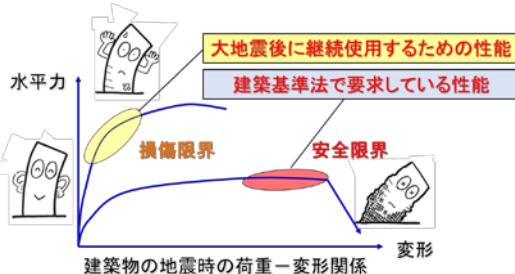
そこで、我々は建築基準法が要求すること以上に、災害拠点建築物の機能継続技術の開発という研究の目標として、大地震に対して建築物が倒壊しないだけでなく、建築物の機能が継続するように、建築物の損傷を抑える、損傷を制御するということを目指して研究開発を進めているところでございます。

本日は、その中で2つの事例についてご紹介します。まず、袖壁を活用した損傷制御設計法です。

### ■そで壁を活用した損傷制御設計法

### 社会に要求されているこれからの建築物

- 建築物の地震後の**継続使用**を如何に**確保**するか
- 地震により低下した**機能**を如何に迅速に**回復**させるか



この図は建物の地震時の荷重と変形の関係のポンチ絵なのですが、いわゆる建築基準法で要求している性能というのは下の曲線であって、それに対して、大地震後も継続使用するための性能としては、変形が抑えられること、それから耐力自身も大きく向上することが要求されると考えられます。

### 実大5層鉄筋コンクリート造建築物の載荷実験

- ▶ 従来の構造設計では、そで壁などの性能評価は複雑で取り込まれてこなかった。そのため構造骨組みに悪影響を与えないように**スリット**を入れて縁を切っていた。
- ▶ 近年の国土交通省 建築基準整備促進事業により、**壁つき部材のモデル化・評価方法について基準**が整備された。(2015年度版構造関係技術基準解説書に反映)
- ▶ 壁つき部材を含む鉄筋コンクリート造架構の靱性型設計法 ひび割れ性状、非構造材を含めた継続使用性についてはほとんど検証されていない。
- ➡ **実大建築物**の載荷実験により壁つき架構の性能を検証する。

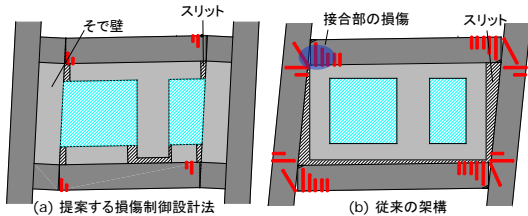
従来の構造設計では、袖壁と言われるものの構造性能が複雑でよくわからないということもあって、構造骨組みに影響を与えないようにスリットを入れて縁を切るという形で、構造設計の中では取り込まれていませんでした。

しかし、近年の国土交通省の建築基準整備促進事業により、壁つき部材のモデル化、あるいは評価方法について基準が整備されて、今年、いわゆる黄色本にその成果が反映され、設計者が使えるような形

になってきたところであります。しかしながら、このような鉄筋コンクリート架構の靱性型設計法というのが黄色本等に取り上げられたのですが、実際にひび割れの性状とか非構造材を含めた継続使用性については、まだほとんど検証されていないというのが実情です。そこで、実大の建築物の載荷試験をすることによって、そのような壁つき架構の性能を検証するというのを、この研究の中で実施しています。

### そで壁を活用した損傷制御設計法の提案

- ▶ 従来の架構に対し、スリットの位置を変えて同程度のコストで地震時の損傷・変形を低減させる
- ▶ はりの損傷位置がそで壁端に移動すると、接合部が損傷しづらく、修復作業を軽減できる

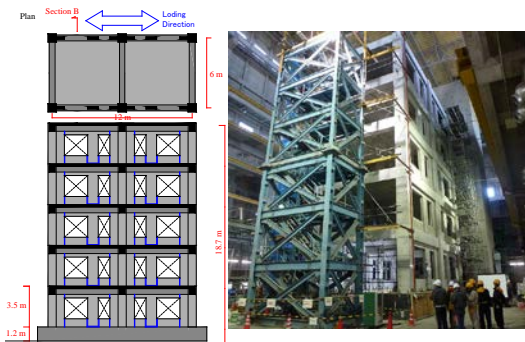


国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management

イメージなのですが、右側が従来の架構と考えていただければいいと思います。柱はりの間に壁があるのですけれども、壁はそれぞれ構造躯体から縁を切ったような状態になっている。今回、提案する損傷制御設計法は、この柱にある袖壁を、縁を切らずに取りつける形のを提案しています。一つのメリットとしては、スリットの位置を変えているだけなので、基本的にそんなに大きなコスト増は考えられない。従来とそんなに変わらないコストでつく

れるだろうと考えます。また、このようなところ（接合部以外）でスリットを入れることによって、柱はりの接合部での損傷を回避できるということが予想されます。

### 実大5層鉄筋コンクリート造建築物の載荷実験

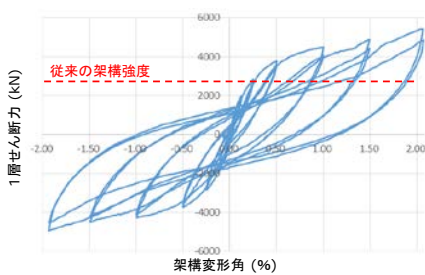


国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management

これが、昨年実施した試験の状況です。高さが 20m 近い 5 層の RC 増の実大の建物に静的加力試験を実施しました。

### 提案する架構の性能

- ▶ 壁を切り離した架構の計算強度を大きく上回る (約1.5倍)
- ▶ 急激な変形・損傷の進行(強度の低下)は見られない

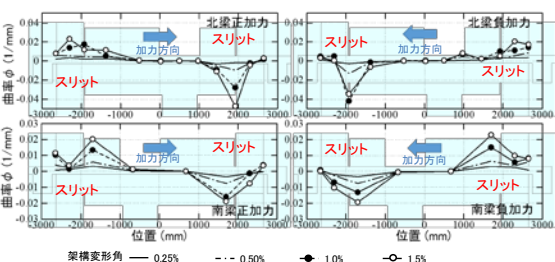


国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management

壁を切り離した従来の架構強度に対して、約 1.5 倍の強度があるということが確認できたことと、それから急激な変形・損傷の進行などが見られなかったということが確認されました。

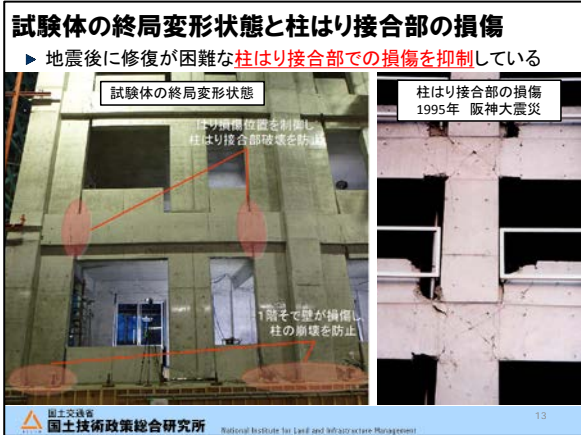
### 提案する架構の性能

- ▶ はりの変形は特にスリット部分に集中している



国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management

具体的に、はりの変形について調べたものですが、ちょっと色が薄いのですけれども、横に薄くはりがあるって、その左右に柱があるように見えると思います。それぞれ、スリットを入れているところで曲率が大きくなっている。スリットのところで曲げ変形が生じているということが確認されました。



この写真が試験体の終局状態です。柱はりの接合部は健全に残っていて、はりのスリットを入れた袖壁との境界のところではびび割れ等が発生している。あと、1階の袖壁が損傷して、逆に柱自体の崩壊を防止しているということも確認されました。

右の写真は、これはまた同じく阪神大震災での被害の事例なのですが、このように、いわゆる×印の形で、柱はり接合部が大きな損傷を受けていて、この建物などはもう建てかえを余儀なくされた

と聞いていますけれども、このような被害、破壊モードにはならず、はりの部分での損傷に抑えることができたということが確認されました。

### 非構造部材(窓枠サッシ)の限界性能

▶ 非構造部材も層間変形角0.75%程度で使用不能となる

代表 変形角	1階 変形角	スリット挿入工法(本側)				既存工法(構側)			
		引違い窓	引違い窓	引違い窓	引違い窓	引違い窓	引違い窓	引違い窓	引違い窓
0.250%	0.187%	△	○	△	○	△	○	△	○
0.500%	0.403%	▲	○	△	○	△	○	▲	▲
1.000%	0.826%	▲	○	×	×	×	×	×	×

△: 軽微、▲: 損傷(支障)あり、×: 損傷大(不能)

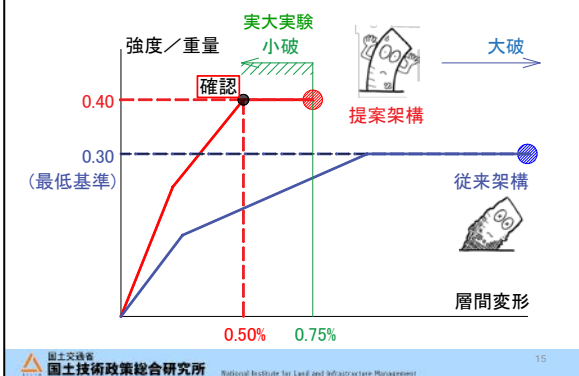
国土交通省  
国土技術政策総合研究所

また、先ほどの東日本大震災の事例でも申しましたように、変形が大きくなったために、扉などがあかないという事例があったのですが、この非構造部材の層間変形角との関係についても同時に調べています。幾つかのこのような窓枠、窓サッシについて試験をしまして、代表的な層間変形角が0.5%ぐらいであれば、ほぼ損傷は抑えられている。ただし、1%になってくると、やはり損傷が大きくなって、最終的には施錠ができないとか、あるいは開閉でき

ないといったことがあるということがわかりました。



## 大地震に被害を「小破」に留めるための要求性能

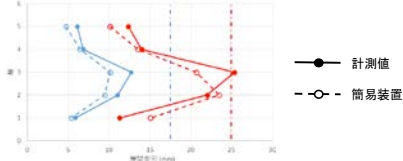


全体のイメージですけれども、大震災の被害を小破にとめるための要求性能としては、まず変形については、先ほど申しましたように、例えば0.5%以内であれば、扉などもほぼ使えるだろうということで、0.5%。それから、建物の耐力自体に関しては、いわゆる0.4のせん断係数ぐらまでであったということが確認されました。従来は大体0.3ということなので、1.3倍程度上昇しているということが確認されて、最終的には0.5ないし0.75%ぐらいの変形までで

あれば小破と考えられて、継続使用が可能ではないかというふうに考えております。

## 地震時の継続使用可否の確認方法

- ▶ 地震時の損傷限界(変形)は簡易な装置により確認可能



また、どのくらいの変形を生じたのかというのを記録する簡易な装置ということで、このようなけがきを用いた装置も同時に開発しました。実際に実験時にこれを使って、変形量などを記録するということが、きちっと記録できるということも確認しています。このようなものを実際の建物に実装すれば、地震を受けた後にどのくらいの変形が生じていたかということの後から確認することができますので、先ほど申しましたような変形量以内におさまっている

かどうかということを確認することができるかと考えております。

## 実大RC造5層建築物の実験のまとめ

- ▶ そで壁を活用したRC造5層建築物の実験を行った。提案方法により、大地震時の損傷・修復作業が軽減することを示した
- ▶ 建築物を大地震時の損傷を小破に留めるには、層間変形角0.50%時にせん断力係数が0.40以上を確認する必要がある
- ▶ 非構造部材は小破以降で使用不能となった。簡易な装置により、地震後の継続使用の可否は判断しうる。



そで壁を活用した損傷制御設計法の提案  
大地震後に大規模な補修をすることなく継続使用可能な架構の提案

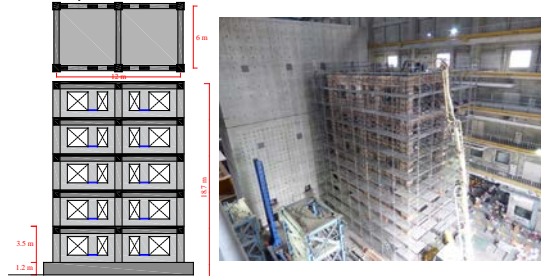
まず、実大5層の実験のまとめですが、袖壁を活用したRC5層の建築物の実験を行いました。大地震の損傷・修復作業が軽減するであろうということがわかりました。また、大地震の損傷を小破にとめるためには、層間変形角は0.5%、そのときにせん断力係数が0.4以上を確認する必要があるということがわかってきました。また、非構造部材は小破以降で使用不能になったということですので、簡易な装置によって、地震後の継続使用の可否については判断で

きるのではないかと考えています。

今後、このような袖壁を利用した損傷制御設計法の提案と、それから地震後に大規模な補修をすることなく、継続使用可能な架構の提案を考えています。

## 2015年度の実大建築物の載荷実験

- ▶ **そで壁に加えて腰壁や垂れ壁を設計に活用**することで大地震後に柱やはりに補修の要らない構造を実現する(一般公開日 12/21, 事前登録 12/3 〆切, 最大50名まで)



今年度も12月21日に実験を予定しております、ここでは袖壁に加えて腰壁とか、あるいは垂れ壁を設計に活用することで、今度は柱やはりに補修の要らない構造を実現しようという目的で、また実大5層の実験を実施予定しています。この成果についても、また別の場でご報告いたします。

## ■ 吊り天井の耐震対策の検討について

続いて、吊り天井の耐震対策の検討についてでございます。

## ■ 吊り天井の耐震対策の検討について



- 2011年東日本大震災ほかの際に、建築物(特に体育館などの大スパン構造物)の**吊り天井の脱落**が生じたため、構造躯体の損傷がなくても、**安全性**だけでなく、**機能継続性**の観点からも問題となった。
- 2013年に国土省告示771号(建築基準法)において天井脱落対策に係る技術基準が規定された(**安全性**)。
- 新たな技術基準を追加するための検討を現在進めている。

吊り天井の耐震対策の検討ということで、この事例は東日本大震災での被害事例なのではございますけれども、多くのこのような、在来工法と言われている吊り天井の脱落が生じて、構造躯体自体は損傷がなくても、下にいる人の人命の安全とか、あるいは建物自体の使用継続性の観点から問題であるということが指摘されています。2013年に告示が定められて、いわゆる天井脱落に対する基準というのが規定されました。またさらにこの研究では、安全性だけではなく

て、地震後も使い続けられる天井というものを開発する目的で始めています。

■ 現行の告示による吊り天井について

- 地震時に天井に生じる慣性力を、天井裏の斜め部材等で受けて構造体等に伝達。
- 水平変位を生じ、天井面と周囲の間に適切に隙間を設置。
- 斜め部材をある程度天井裏に設置する場合、天井裏を設備等の配置に用いるには不便。

現告示による天井のイメージ

天井裏の斜め部材の配置例

国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 21

まず現行の吊り天井のイメージですが、このような形で、吊り材で天井を吊っています。横に揺れないように斜材をたくさん入れています。少し揺れても、壁とかに当たらないように隙間をつくるということが求められています。このように斜材がいっぱい入ることによって、本来、天井の裏というのは、天井に取りつけられる空調設備とか、あるいは電気設備等の配線とか配管のためのスペースでもあるのですけれども、そのような設備の配置には非常に不

便であるということが言われています。

■ 「高耐震吊り天井」の開発について

- 地震時に天井に生じる慣性力を、天井裏の水平力抵抗部材で受けて構造体等に伝達。
- 中地震から大地震程度に対して「天井面の形状及び非共振状態を維持できる」ことを目標とする。
- 天井周囲に生じる隙間は現告示60mm以内より小さくすることを想定。
- 天井裏の部材は少なく、天井裏の利用の自由度を高くする。

「高耐震吊り天井」のイメージ

吊り天井の天井裏の例

国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 22

そこで、高耐震吊り天井というものを考案しています。水平力抵抗部材というものを従来の吊り天井に挿入する、実装するという形で、これによって地震力の水平力を分担させる、あるいは天井面の形状及び非共振状態を維持できるということを目指しています。また、先ほど申しましたように、現在の告示では、天井と壁との隙間を60mm以上というように規定しているのですけれども、それよりも小さくすることを考えています。さらに、このような形

での抵抗部材ですので、天井裏の利用の自由度を高くするという目的であります。

■ 「高耐震吊り天井」の動的加振実験の試験体概要

試験体の概要(長さ1650mm、幅480mm、吊り長さ1500mm、重さ1.2t)

試験体の設置状況

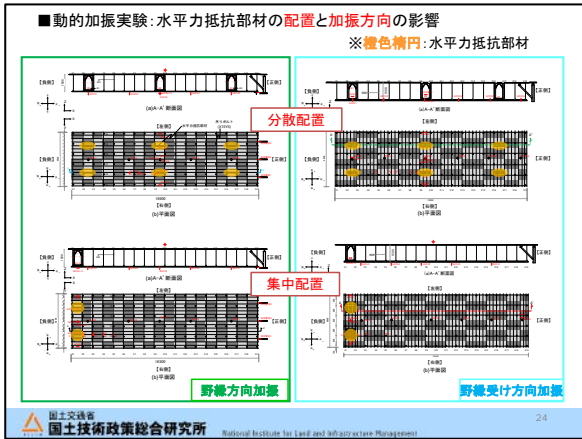
他の部材は従来の吊り天井と同じ

水平力抵抗部材(約27kg/個) 立面図

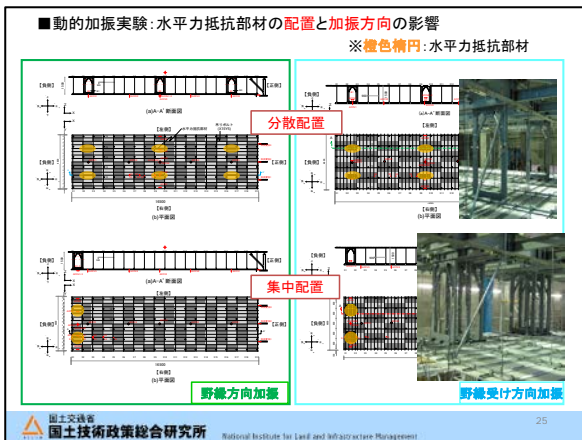
国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 23

具体的には、このような水平力抵抗部材というものです。これを、従来の吊り天井に配置する。これが実験時の状況です。

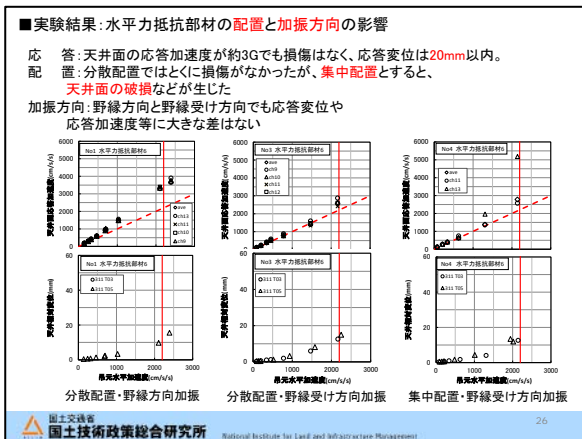




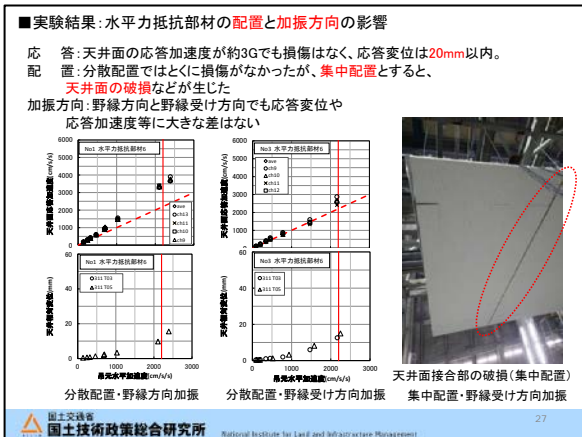
幾つかのパターンについて実験を実施しました。上の段は、黄色く示している部分が抵抗部材です。6台の抵抗部材をつり合いよくというのですか、均等な形で分散して配置したもの。下の図は、同じ6台ですけれども、左側に寄せた形で集中配置したもの。この2種類のパターン。



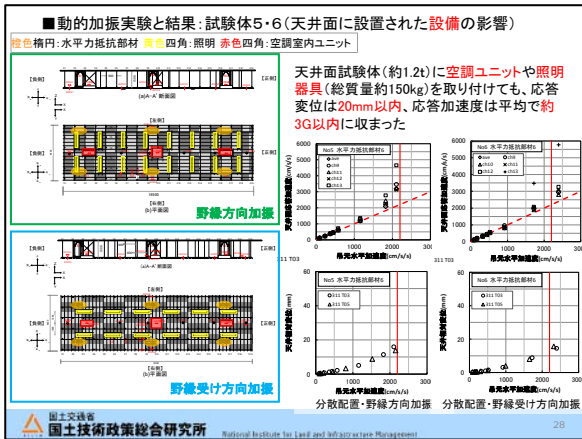
それから左右は、吊り天井には方向性がありまして、いわゆる野縁方向、それからそれに直行する野縁受け方向という形で、その方向性についても2種類に分けて実験を実施しました。このような形(写真)です。集中配置したものはこのような形(写真)で、天井の左側にまとめて実装したものです。



これは実験結果なのですが、応答に関しては、天井面の応答加速度が約3Gであっても、ほとんど損傷はなくて、全体の応答変位も20mm以内、先ほど60mm以内に抑えるということでしたけれども、20mm以内であるということがわかりました。ただし、分散配置では特に損傷はなかったのですが、集中配置をすると、天井面に破損が生じたということがわかりました。また、先ほど言いました



方向性に関しては、応答変位、あるいは応答加速度について特に大きな差はなかったということがわかりました。



また、先ほど申しましたように、天井には色々な設備が取り付けられています。空調ユニットとか、あるいは照明器具などを設置した形でも実施してみました。総重量が150kgぐらいの空調ユニット、あるいは照明器具をつけた状態で実施しましたが、設備はあってもなくても、応答値には影響がなかったということが確認されています。

■「高耐震吊り天井」の検討について

- 災害拠点建築物に設ける吊り天井の耐震性向上を目指して、執務室を主な設置対象に想定した「高耐震吊り天井」の開発を実施した。
- 「水平力抵抗部材」を吊り天井(80㎡、1.2ton)に約良く6個配置(分散配置)した動的加振実験より、吊り元加速度2000gal・天井面加速度3000gal程度(告示では天井面最大設計加速度2200gal)まで天井が無損傷であり、変位は20mm程度以内(告示では隙間は60mm以内)に納められること、加振方向や天井面の設備の影響も小さいことを確認した。
- 今後は、静的・動的実験の結果を踏まえ、設計時に活用できるように、庁舎への適用について設計例を作成するとともに、災害拠点建築物における吊り天井の設計の手引きを検討する予定である。

国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 29

この高耐震吊り天井についてのまとめですが、災害拠点建築物に設ける吊り天井の耐震性向上を目指して、執務室など、主な設置対象を想定した高耐震吊り天井の開発を実施したということと、水平力抵抗部材を吊り天井に吊り合いよく6個配置して、吊り元の加速度が約2G、それから天井面での加速度が3G程度では天井が無損傷であるということ。それから、変位が大体20mm以内に抑えられるということが確認できたということです。今後は、静的あるいは動的実験の結果を踏まえ、設計時に活用できるように、色々設計例を作成するとともに、設計の手引きというものを検討してまとめる予定でございます。

は動的実験の結果を踏まえ、設計に活用できるように、色々設計例を作成するとともに、設計の手引きというものを検討してまとめる予定でございます。

■総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」(H25～28)

- そで壁を利用した損傷制御法・使用安全性簡易確認装置
- 高耐震吊り天井
- 外装材脱落を考慮した耐津波設計法
- 低抗力津波避難ビル
- 漂流物対策の調査
- 飛来物耐衝撃性能評価法
- 災害拠点建築物の設備システム

平成28年度は、これまで開発した技術を用いた試設計を実施し、設計で活用できることを確認し、災害拠点建築物の設計ガイドラインに資する。

国土交通省 国土技術政策総合研究所 National Institute for Land and Infrastructure Management 30

災害拠点研究は、今のご紹介した2例以外にもさまざまな、地震以外の荷重、外力に対しても機能が維持できるためにはどうすればよいかということで、例えばこれは津波を想定した建物ですが、このような外装材脱落を考慮した対津波設計法とか、抵抗力型の津波避難ビルの設計法、あるいは漂流物対策の調査、あるいは竜巻などで発生するような飛来物に対しての性能評価法、あるいは災害拠点建築物の設備システムについての検討なども並行して実施

しているところでございます。

来年度が最終年度であるのですけれども、これまでに開発した技術を用いて試設計を実施して、設計で活用できるということを確認して、最終的な設計ガイドラインに資するものをまとめたいと考えております。

どうもご清聴ありがとうございました

ご清聴ありがとうございました

