研究者より③「非構造材の被害と耐震設計法」

脇山　善夫（国土技術政策総合研究所　建築研究部　材料・部材基準研究室　室長）

1.建築非構造部材の被害

建築非構造部材にはさまざまなものがあります。学会の指針でも、図表 1にあるように、相当広範囲のものが非構造部材と呼ばれています。

過去の地震被害では、十勝沖地震や東日本大震災など、さまざまな地震で構造体の被害が確認されました。一方、非構造部材の被害は、現在の検討につながるような大きなものとしては、1978 年の宮城県沖地震での PC カーテンウォールや窓ガラスの脱落、1995 年の兵庫県南部地震での天井脱落などが挙げられると思います。地震被害を受けた非構造部材について最低基準が上げられるなどしてきました。

■建築非構造部材とは

・建築基準法施行令第39条で “屋根ふき材、内装材、外装材、帳壁その他これらに類する建築物の部分” が該当。

・「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」（日本建築学会/2003年1月）は以下のようなものを、主な対象として取り上げている。

- 鉄筋コンクリート非構造壁
- カーテンウォール
- ＡＬＣパネル帳壁
- 押出成形セメント板帳壁
- れんがおよびブロック帳壁構法
- 石張り
- 陶磁器質タイル張りおよび左官構法
- 乾式・湿式間仕切り壁および内装仕上材
- 天井　・床
- ガラス窓およびガラス壁　・扉
- エキスパンションジョイント
- 屋根ふき材

1

2.非構造部材の耐震設計に関する基規準等

非構造部材の耐震設計に関する基規準等を、図表 2で大きく四つにグルーピングしました。1 番目は建築基準法及び関連告示、2 番目は学会の指針、3 番目は官庁施設に関する基準、4 番目は ISO です。このような技術基準等が示されているものもあれば、示されていないものに関しては、協会、団体等による基準や、製造者等による技術資料が活用されることになります。

建築基準法と関連する告示に関して説明します（図表 3)。建築基準法施行令の第 39 条では、屋根ふき材、内装材、外装材、帳壁、その他これらに類する建築の部分を対象にしており、第 39 条の 2 では、屋根ふき材、外装材および屋外に面する帳壁の構造は国土交通大臣が定めた構造方法を用いるものとしなければならないとされています。第 39 条の 3 には特定天井に関する記述があり、これに関して

■非構造部材の耐震設計に関する基規準等

・建築基準法令及び関連告示

・非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」（（一社）日本建築学会）
・建築工事標準仕様書・同解説（（一社）日本建築学会）

・官庁施設の総合耐震・対津波計画基準
・官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説

・ISO13033 Bases for design of structures – Loads, forces and other actions – Seismic actions on nonstructural components for building applications

2

■建築基準法施行令

第三十九条

屋根ふき材、内装材、外装材、帳壁その他これらに類する建築物の部分及び広告塔、装飾塔その他建築物の屋外に取り付けるものは、風圧並びに地震その他の震動及び衝撃によつて脱落しないようにしなければならない。

2 屋根ふき材、外装材及び屋外に面する帳壁の構造は、構造耐力上安全なものとして国土交通大臣が定めた構造方法を用いるものとしなければならない。

3 特定天井（脱落によつて重大な危害を生ずるおそれがあるものとして国土交通大臣が定める天井をいう。以下同じ。）の構造は、構造耐力上安全なものとして、国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの又は国土交通大臣の認定を受けたものとしなければならない。

（第4項省略。第4項は特定天井の耐久性等関係規定。）

3

も、国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの、または国土交通大臣の認定を受けたものとしなければならないとされています。

このような施行令を踏まえ、告示では何が記されているか。昭和 46 年建設省告示第 109 号では、屋根ふき材、外装材および屋外に面する帳壁について触れられており、第 109 号の第一に、屋根ふき材への荷重や緊結金物、屋根瓦などに関して規定されています（図表 4)。

第二では外装材について触れており、飾石、貼り石その他これらに類するものの緊結や、建築物の屋外に面する部分に取り付けるタイルその他これらに類するものについて規定されています（図表 5)。

第三では、「地階を除く階数が三以上の建築物の屋外に面する帳壁は、次に定めるところによらなければならない」ということで、一．帳壁およびその支持構造部について、二．プレキャストコンクリート板を使用する帳壁について、三．鉄網モ

□昭和46年建設省告示第109号（最終改正平成12年建設省告示第1348号）

建築基準法施行令(昭和25年政令第338号)第39条第二項の規定に基づき、屋根ふき材、外装材及び屋外に面する帳壁の構造方法を次のように定める。

第一　屋根ふき材は、次に定めるところによらなければならない。

一　屋根ふき材は、荷重又は外力により、脱落又は浮き上がりを起さないように、たるき、梁、けた、野地板その他これらに類する構造部材に取り付けるものとすること。

二　屋根ふき材及び緊結金物その他これらに類するものが、腐食又は腐朽するおそれがある場合には、有効なさび止め又は防腐のための措置をすること。

三　屋根瓦は、軒及びけらばから2枚通りまでを1枚ごとに、その他の部分のうちむねにあつては1枚おきごとに、銅線、鉄線、くぎ等で下地に緊結し、又はこれと同等以上の効力を有する方法ではがれ落ちないようにふくこと。

4

□昭和46年建設省告示第109号（最終改正平成12年建設省告示第1348号）

第二　外装材は、次の各号に定めるところによらなければならない。

一　建築物の屋外に面する部分に取り付ける飾石、張り石その他これらに類するものは、ボルト、かすがい、銅線その他の金物で軸組、壁、柱又は構造耐力上主要な部分に緊結すること。

二　建築物の屋外に面する部分に取り付けるタイルその他これらに類するものは、銅線、くぎその他の金物又はモルタルその他の接着剤で下地に緊結すること。

5

ルタル塗の帳壁の材料について、それぞれ規定されています（図表 6)。さらに、四. 帳壁として窓にガラス入りのはめごろし戸を設ける場合に当たっては、硬化性シーリングを使用しないこと、あるいは落下防止をすることや、五. 高さ 31m を超える建築物の屋外に面する帳壁に関しても規定が設けられています（図表 7)。

□昭和46年建設省告示第109号（最終改正平成12年建設省告示第1348号）

第三　地階を除く階数が三以上である建築物の屋外に面する帳壁は、次に定めるところによらなければならない。

一　帳壁及びその支持構造部分は、荷重又は外力により脱落することがないように構造耐力上主要な部分に取り付けること。

二　プレキャストコンクリート板を使用する帳壁は、その上部又は下部の支持構造部分において可動すること。ただし、構造計算又は実験によつてプレキャストコンクリート板を使用する帳壁及びその支持構造部分に著しい変形が生じないことを確かめた場合にあつては、この限りでない。

三　鉄網モルタル塗の帳壁に使用するラスシート、ワイヤラス又はメタルラスは、日本工業規格(以下「JIS」という。)A5524(ラスシート(角波亜鉛鉄板ラス))-1994、JISA5504(ワイヤラス)-1994又はJISA5505(メタルラス)-1995にそれぞれ適合するか、又はこれらと同等以上の性能を有することとし、かつ、間柱又は胴縁その他の下地材に緊結すること。

6

□昭和46年建設省告示第109号（最終改正平成12年建設省告示第1348号）

四　帳壁として窓にガラス入りのはめごろし戸(網入ガラス入りのものを除く。)を設ける場合にあつては、硬化性のシーリング材を使用しないこと。ただし、ガラスの落下による危害を防止するための措置が講じられている場合にあつては、この限りでない。

五　高さ31メートルを超える建築物(高さ31メートル以下の部分で高さ31メートルを超える部分の構造耐力上の影響を受けない部分を除く。)の屋外に面する帳壁は、その高さの150の1の層間変位に対して脱落しないこと。ただし、構造計算によつて帳壁が脱落しないことを確かめた場合においては、この限りでない。

7

また、東日本大震災をうけて、平成 25 年国土交通省告示第 771 号が出されました（図表 8）。これは特定天井の技術基準について定めているもので、平成 28 年に改正されています。特定天井の構造として、隙間あり天井と隙間なし天井の技術基準が定められていることは、皆さん広くご存じのところではないかと思います（図表 9）。

ここからは、これらの基準法令や告示の背景にある地震被害等について見ていきたいと思います。

3.建築非構造部材の地震時の外力への応答について

建築非構造部材の地震時の外力への応答について考える時、慣性力による影響が大きいものと、層間変位による影響が大きいものがあります。つり下げているもの、

□平成25年国土交通省告示第771号（最終改正平成28年国土交通省告示第791号）

建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第39条第3項の規定に基づき、特定天井を第2に、特定天井の構造方法を第3に定める。

第1　この告示において次の各号に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

一　吊り天井　天井のうち、構造耐力上主要な部分又は支持構造部（以下「構造耐力上主要な部分等」という。）から天井面構成部材を吊り材により吊り下げる構造の天井をいう。

（※途中省略。）

8

□平成25年国土交通省告示第771号

第2　特定天井

特定天井は、吊り天井であって、次の各号のいずれにも該当するものとする。

一　居室、廊下その他の人が日常立ち入る場所に設けられるもの

二　高さが6メートルを超える天井の部分で、その水平投影面積が200平方メートルを超えるものを含むもの

三　天井面構成部材等の単位面積質量（天井面の面積の1平方メートル当たりの質量をいう。以下同じ。）が2キログラムを超えるもの

（※途中省略。）

第3　特定天井の構造

（※「隙間あり天井」、「隙間なし天井」の技術基準。以下省略。）

9

例えばつり天井などは慣性力による影響が大きくなります。一方、層間変位による影響が大きいものの代表としては、タイル仕上げが挙げられます。これらの中間の、慣性力による影響も層間変位による影響もそれなりに大きいものとして、カーテンウォールや間仕切り、ガラススクリーン、窓などがあります。これらについて、地震被害を踏まえてどのように基準が改定されてきたかということを見ていきたいと思います。

まず、層間変位による影響が大きいものです。構造躯体が変形したときに、その中に入っている非構造部材が影響を受けるというイメージです。層間変位への追従の例として、はめ込みガラスでは、枠にクリアランスを持ってはまっているガラスが、層間変位にともなって平行移動し、回転し、最終的に割れるということになります。1978 年 2 月の宮城県沖地震では、硬化性パテ留めガラスの破損が多数発生しました。6 月に起こった 1978 年宮城県沖地震の際に再び硬化性パテ留めの窓ガラスで多くの被害が出ましたが、6 月の地震の後に弾性シーリング材を使用するサッシに全部交換した建築物では被害は全くみられなかったとの報告があります。その後、告示第 109 号の改正により、はめごろし窓のガラスへの硬化性シーリング材の使用が禁止されました。

そうはいっても、全ての建物で硬化性パテを交換するということはなかなか進みません。2005 年福岡県西方沖地震では、ビルのガラスが割れ、東大の清家先生の調査によると、被害が出ているのは、はめごろしの中で硬化性パテを用いたものだったということです。また、東日本大震災のときには都内のビルで、水平方向に 3 枚 1 組となったガラス窓で、可動であった真ん中のサッシのガラスは割れず、両側の硬化性パテを使用したはめごろしの窓で、被害が出たという事例が報告されています。改修されていない部分において選択的に被害が出ているといえます。

層間変位への追従として、カーテンウォールに関しても、1978 年宮城県沖地震のときに被害が出て、帳壁の PC パネルの支持構造部分を可動にするよう規定されました。しかし、改修されない部分、あるいは、それだけでは対応しきれない部分があり、東日本大震災では水戸や仙台駅前で ALC パネルの被害が出ました。仙台駅前の被害に関しては、複数の ALC パネルを横断した形で看板が付いていたことによってロッキングが妨げられたのではないかといわれています。

次に、慣性力による影響が大きいものです。天井などが該当するということで、東日本大震災でさまざまな被害が発生し、技術基準が制定されました。隙間あり天井と隙間なし天井の基準がそれぞれ設けられ、外力等を設定した上で技術基準や構造方法が示されています。

4.官庁施設の総合耐震・対津波計画基準

次に、非構造部材の耐震設計に関する基規準の中の、官庁施設に関する基準についてです。大地震動に対する建築非構造部材の耐震安全性の目標が A 類と B 類に分けてられていて、それぞれ大地震後にどのような性能を持つかということが定められています（図表 10）。

また、国土技術政策総合研究所が出している「災害拠点建築の設計ガイドライン（案）」の中で、設計図に配慮すべき事項をまとめています。このガイドラインは国総研資料 1004 号ということで、国際研のサイトでたどっていくことができるので、詳しくご覧になりたい方はダウンロードしていただければと思いますが、第 7 章で非構造部材について触れており、法令等と、構造躯体の設計（変形量、加速度等）と整合するように造るようにということを述べています。また、技術資料では、拠点室における天井設計法について、国総研でも耐力部材を天井裏に入れるなどの実験・検討を行っています。

5.非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要項

次に、非構造部材の耐震設計に関する基規準の中の、学会の指針についてです。非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要項では、耐震安全性の目標として、極めてまれに発生する地震動時の要求性能と、まれに発生する地震

■官庁施設の総合耐震・対津波計画基準

2．2．3 建築非構造部材の耐震安全性確保

［※2．2．3．1 基本事項　より］

大地震動に対する建築非構造部材の耐震安全性の目標

A類：該当施設の外部及び当該室について、大地震動後、災害応急対策活動等を円滑に行ううえ、又は危険物の管理のうえで支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られるものとする。また、機能の停止が許されない室は、要求される機能に応じた検討を行う。

当該室：活動拠点室、活動支援室、活動通路、活動上重要な設備室、危険物を貯蔵又は使用する室等

B類：大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生しても、人命の安全確保と二次災害の防止が図られていることを目標とする。A類の官庁施設の一般室も同様。

10

動時の要求性能を定めています（図表 11）。設計法に関しても、慣性力に対する検討、強制変形角に対する検討、総合的検討について言及しています。これに関しては、今、学会で新たな改定作業を進めています。

□非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領

第2編　第1章　耐震安全性の目標

a.きわめてまれに発生する地震動時あるいは安全限界変形時（以下、大地震動時と略記）においても、非構造部材の破壊や変形が直接あるいは間接に人命に危険を及ぼさないこと。また、震災時に果たさなければならない社会的に重要な機能を持つ建物にあっては、その機能を確保すること。

b.まれに発生する地震動時あるいは損傷限界変形時（以下、中地震動時と略記）には、非構造部材が破損したり、過大な変形が生じることがないこと。また、非構造部材の挙動が直接あるいは間接に建築物の居住性を損なうことなく、また財産の保護が確保されること。

11

6.ISO13033

最後に、非構造部材の耐震設計に関する基規準の中で、ISO13033についてです。これは 2013 年に制定されたものです。図表 12、13、14は英語ですが、耐震設計の目的と性能基準を定めている部分があり、これは官庁施設の基準や「災害拠点建築の設計ガイドライン（案）」に書いてあることと大きくは変わりません。非構造部材の耐震要求項目は、慣性力に関する要求と、接合部間の相対変位に関する要求と、他の部材もしくは構造要素との相互作用により生じる衝撃力に関する要求となっています。

慣性力に関する要求の中で 1 点、学会の基準と違うことがあります。非構造部材の応答倍率により定まる係数について、学会の基準では、天井的など上からぶら下げるものについて 2.0 としていますが、ISO では 2.5、もしくはそれを超える値としています。

■ISO13033

5 Seismic design objectives and performance criteria

The fundamental seismic design objectives for NSCS are, in the event of an earthquake:

- to prevent human casualties associated with falling hazards and blockage of egress paths;
- to ensure post-earthquake continuity of life-safety functions within the building (e.g., sprinkler piping);
- to ensure continued post-earthquake operation of essential facilities (e.g., hospitals, fire stations);
- to maintain containment of hazardous materials;
- to minimize damage to property

12

□ISO13033

6 Sources of seismic demand on NSCS

The following three sources of seismic demand should be considered when evaluating NSCS:

a) inertial acceleration demands;
b) relative displacement demands between points of attachment;
c) impact force demands resulting from interactions with other components or structural members.

13

また、ISO の中でどのようにその性能を承認していくかですが、設計解析による方法と、試験による方法と、もう一つ、過去の地震から得られた記録に基づいて許容できる耐震性能を決定する合意手続きによる検証があります。経験に基づく記録ということで、ここも、もしかすると学会の基準と違う部分ではないかと思います。

以上、非構造部材の耐震設計に関する基規準についてザッと見てきましたが、新たな非構造部材の耐震設計を検討する上で、技術基準等を成立させた背景の理解や、過去の地震による経験の活用は、耐震性の確保において有用と考えています（図表15）。

□ISO13033

9.1 Performance acceptance criteria

a)verification by design analysis;

b)verification by seismic qualification testing;

c)verification by consensus procedures that determine acceptable seismic capacity on the basis of documented experience from past earthquakes (experience data);

d)a combination of a), b) and c).

14

■非構造部材の耐震設計について

- 地震被害を踏まえて、建築基準法令の改正、告示の制定・改正等により、建築非構造部材の新たな技術基準が示されてきている。
- 技術基準が示されていない建築非構造部材については、学会、協会、団体等による基準や製造者等による技術資料等が利用される。
- 技術基準等が新たに示されたものについては、既存不適格への対応が必要となる場合もある。

新たな非構造部材の耐震を検討する上で、技術基準等を成立させた背景の理解や、過去の地震による経験の活用は、耐震性の確保において有用と考える。

15