研究者より②「災害拠点建物のための新しい耐震設計法」

壁谷澤　寿一（首都大学東京　准教授）

私からは「災害拠点建物の新しい耐震設計法」ということで、私が国土交通省在籍時にプロジェクト研究で開発した災害拠点建築物の設計法について紹介します。

1.災害拠点建築物の機能継続技術の開発

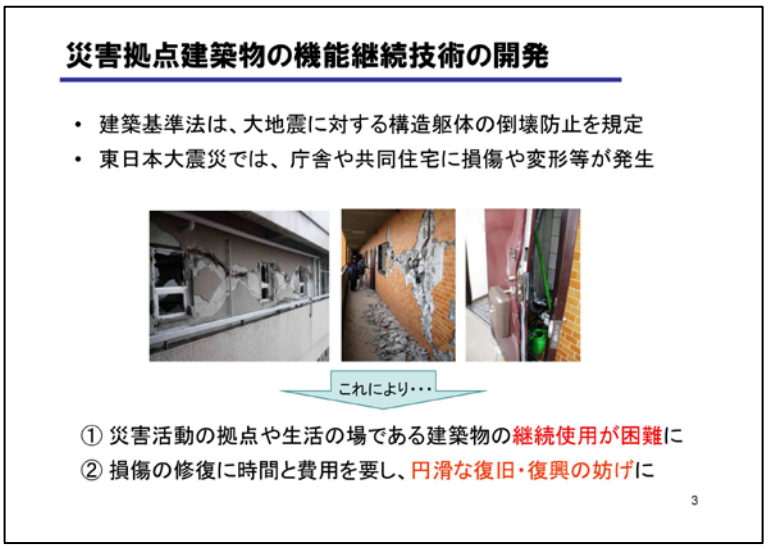
本プロジェクトは、災害拠点建築物の機能継続技術の開発ということで、地震だけでなく津波や竜巻などを考えた防災性能の向上を目指し、どういう設計が建築基準法の上位の設計法として提案できるかということで技術開発を行ったものです（図表1)。本プロジェクトは既に終了しています。

当時は熊本地震が起こる前で、本プロジェクトの発端は東日本大震災でした。建築基準法では、大地震に対する構造躯体の倒壊防止についてのみ規定されていますが、東日本大震災では、庁舎や共同住宅等に損傷が生じ、災害活動拠点や生

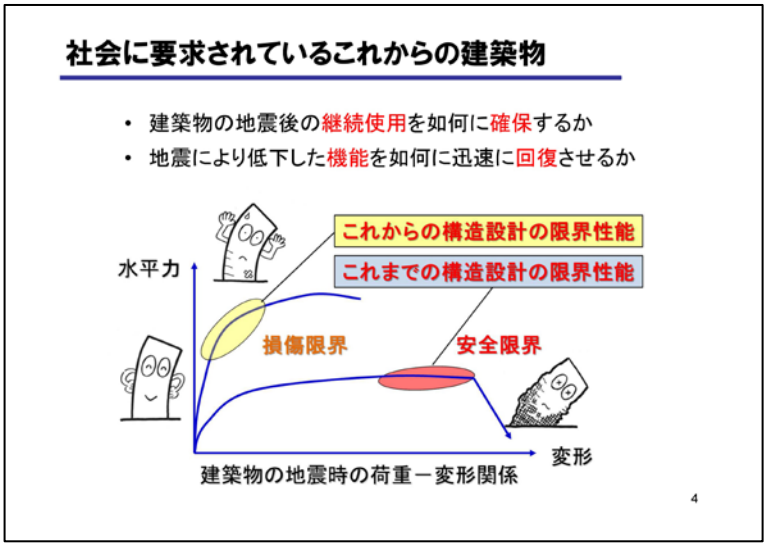
1

活の場において継続使用が困難になった事例が散見されました（図表2）。これを防ぐ手立てはないかということで、本プロジェクトがスタートしました。

大地震に対し、現在の建築基準法は、安全限界を超えるとその建物は取り壊してもよいということになっていますが、これから目指すべき構造設計は、大地震時に損傷限界程度にとどめて使い続けることができる、もしくは軽微な補修でそのまま使えることを目指すべきではないかと考えています（図表3）。



2



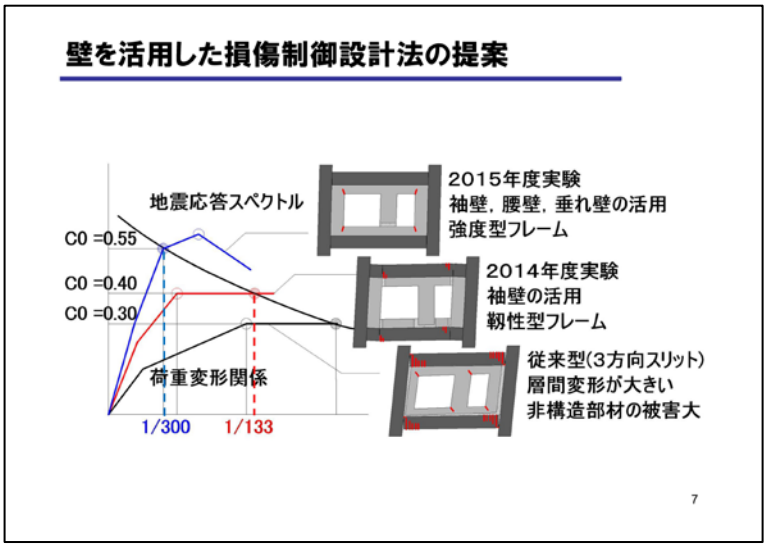
3

2.建物の損傷の仕方

東日本大震災でもそうでしたが、集合住宅等で非構造壁や梁、柱に図表4のように損傷が生じると、そのまま建物として使うことができなくなります。ただ、非構造壁は、きちんと設計すればかなり強度が上がるので、それにより建物の応答、変形を小さくすることができるのではないかと考えました。

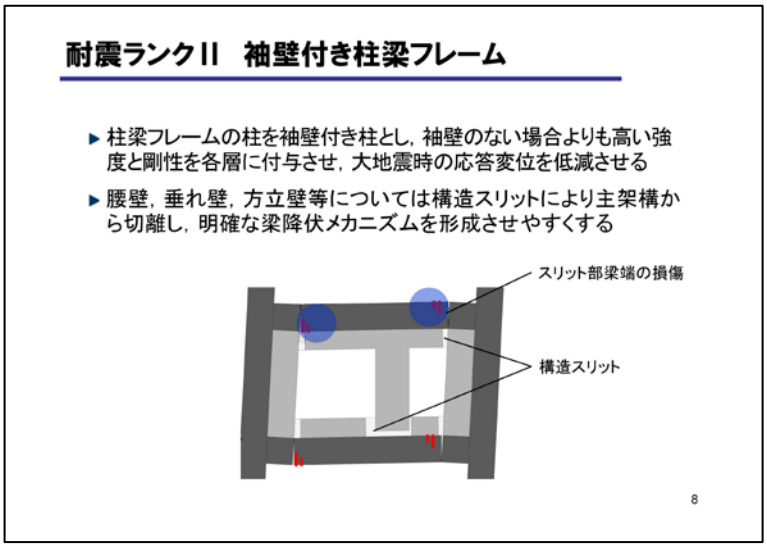
図表5は、縦軸が建物強度、横軸が地震時の変形を表しています。地震の斜めの線と建物の線がぶつかったところが地震時の変形になりますが、従来のいわゆる３方向スリット、壁を全て切り離して建てられた建物は非常に大きな変形が生じてしまいます。それにより、変形が生じ窓枠サッシ等の非構造部材が損傷し、加速度が生じるので天井材も脱落する可能性があります。これを、切られていない壁などをそのままフレームとして活用すれば、高い強度が期待でき、損傷も小さくなるのではないかということから、これが本当に実現できるかどうかを実大実験で検証しました。従来の耐震基準法では、建物の重さの 0.3 倍ぐらいが柱梁

4

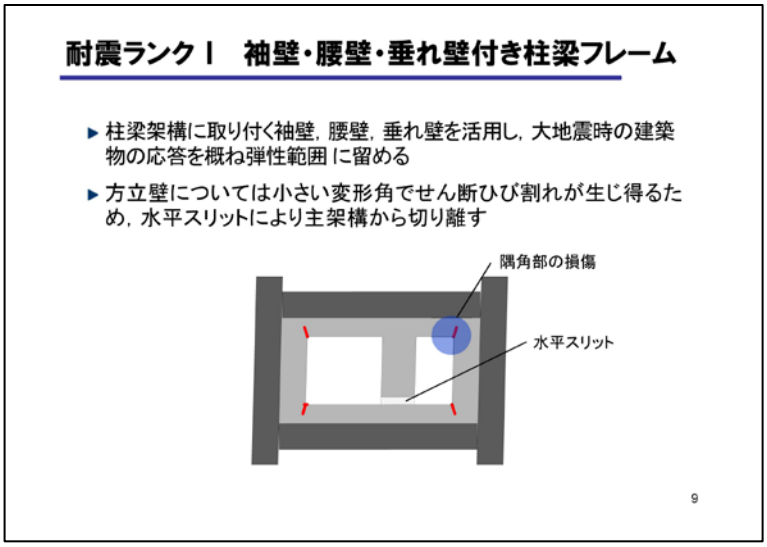


5

フレームの強度として求められていますが、それに対し、袖壁をフレームの中に残して変形を小さくする方法と、腰壁・垂壁といって、従来は柱のせん断破壊を引き起こすので非常に設計が困難だったといわれる部材についても、うまく活用しながら設計するという方法を提案しました（図表6、7）。



6



7

実際に熊本地震では、図表8のような純ラーメン構造で、窓枠サッシが付いた建物で柱と梁の接合部が完全に損傷し、大きな残留変形が生じました。柱と梁だけにして剛性を小さくしてしまうと、このような損傷が生じてしまう懸念があります。

3.実大実験

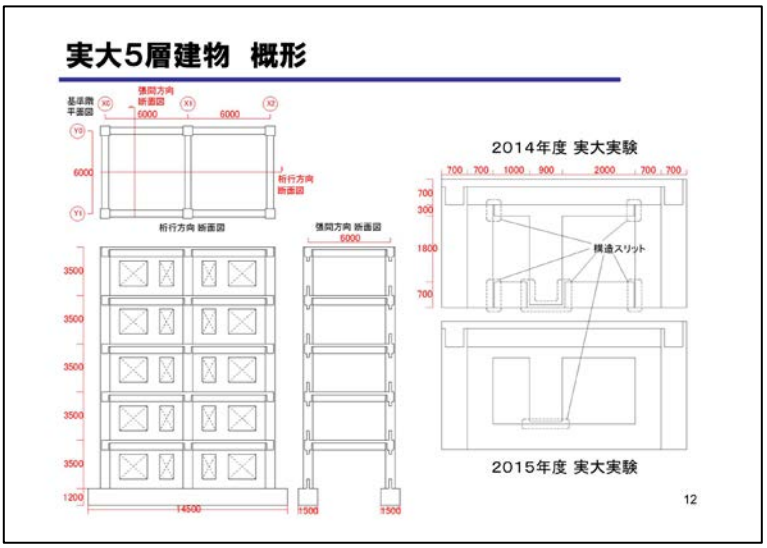
図表9のメンバーが中心となって実大実験を行いました。5 階建て、2×1 の 6m スパンの建物を造りました（図表10）。桁行方向に静的に載荷しますが、そこに

8

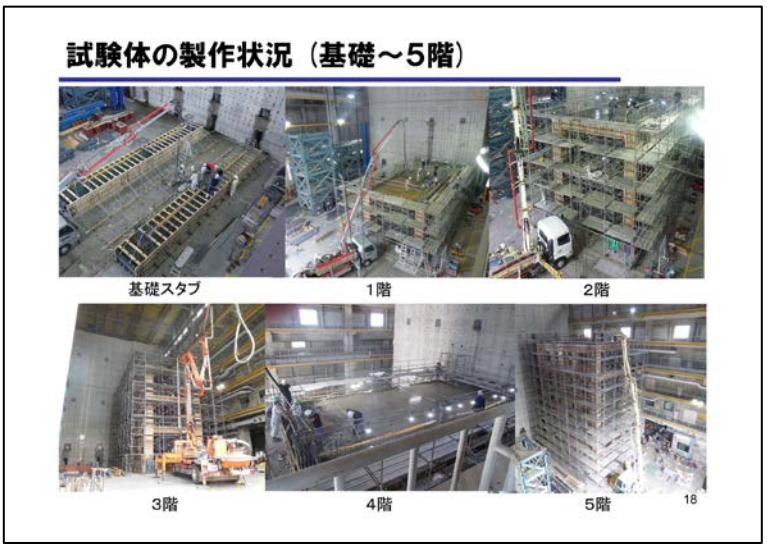
9

壁が入っていて、通常は３方向のスリットで切られてしまうものを、スリットの場所を変えて一部残すことで、建物の強度を残したまま、どのぐらい建物が強くなるのかということを検討しました。

図表11、12が、試験体を製作した当時の状況です。先ほど示した、袖壁を柱に取り付けたフレームと、袖壁・腰壁・垂壁を柱と梁に取り付けたフレームの２体の試験体を造りました。



10



11

これが思ったとおりの壊れ方をするのかということで実験を行ったところ、図表13のように袖壁の端部でヒンジが生じ、接合部等の損傷が避けられ、ひび割れについても思ったとおりの所で生じ、強度もかなり高いことが確認されました。

4.実験結果

この実験は一般公開しました（図表14）。結果としては、設計上は柱梁のみのフレームで想定される強度に対して、袖壁を残した建物については約 1.5 倍の強

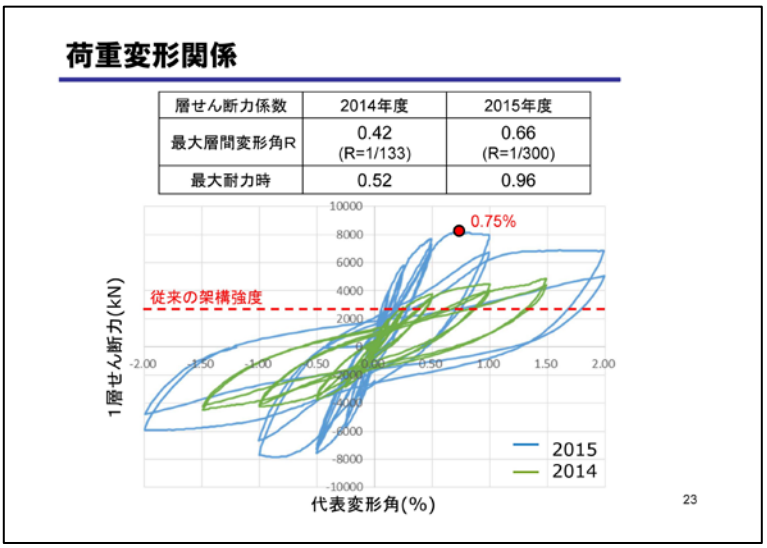
12

13

度が確保でき、さらに腰壁や垂壁を残すと約３倍の強度が確保できるということで、通常は切り離されてしまっている壁を有効活用することで、建物の強度をかなり上げられることが分かりました（図表15）。

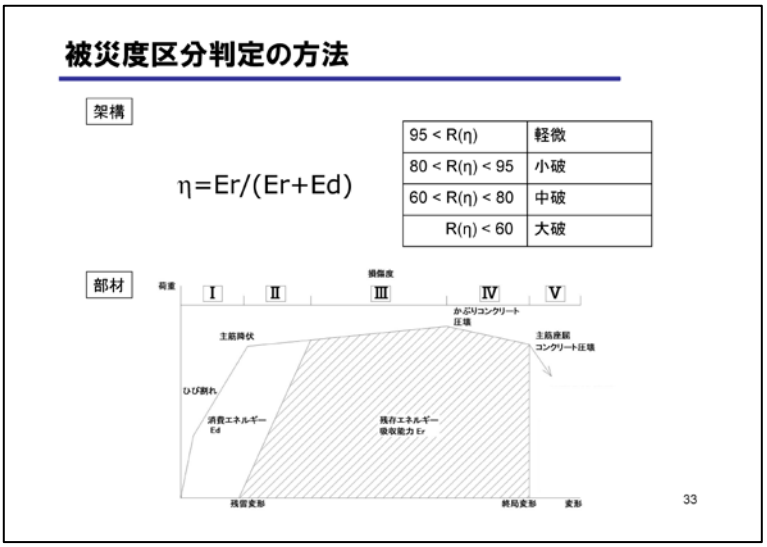
この結果を、どのように設計に持っていったかですが、構造駆体における軽微や小破という被災度は、建物の力と変形の関係でどのぐらいエネルギーを消費したかという判定基準に基づいて判定しています（図表16）。

14

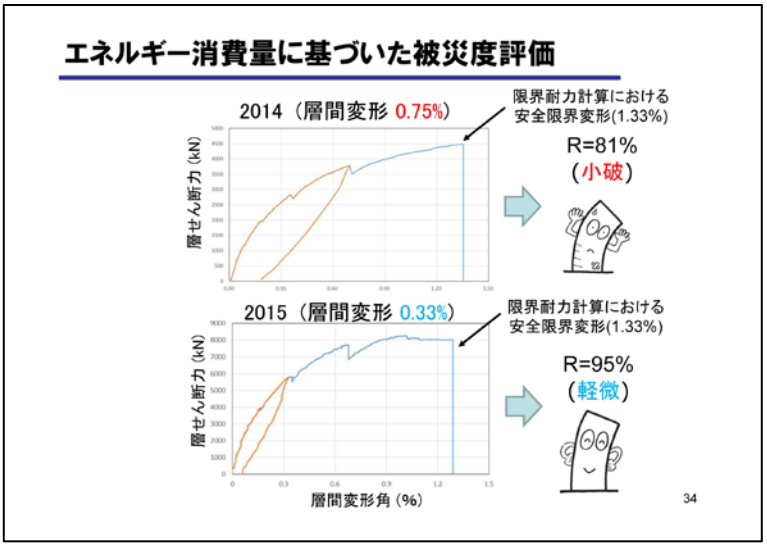


15

その判断に基づき、実験結果から変形をどのぐらいに抑えればエネルギーが小さいままかということを考えたところ、袖壁が付いたものについては層間変形角を 0.75%程度、腰壁や垂壁が付いたものについては 0.33%程度残しておくと、建物のフレームの損傷が小破や軽微にとどまることが分かりました（図表17）。



16

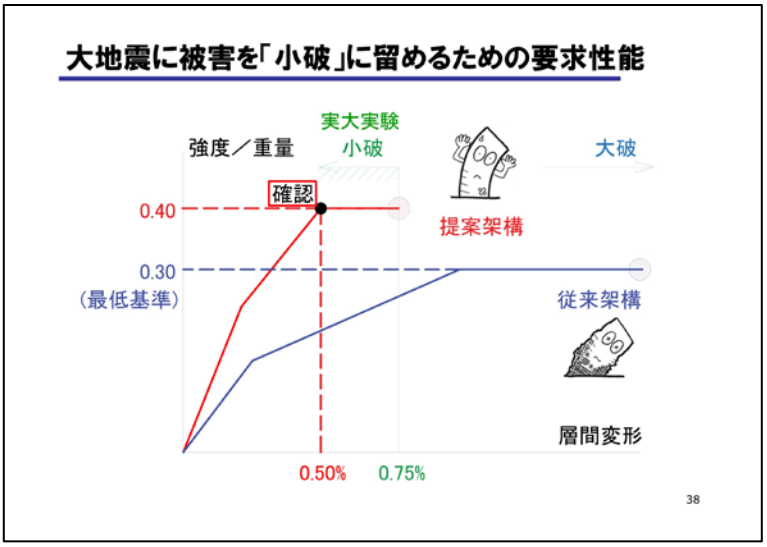


17

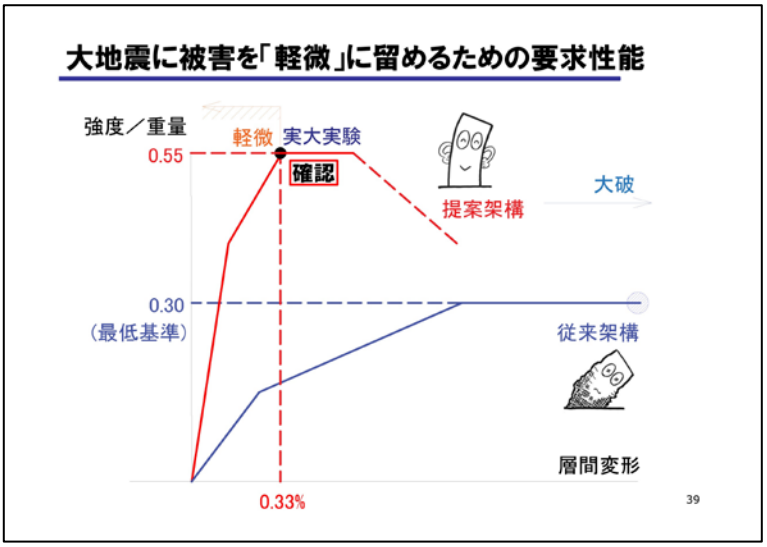
最終的に提案した設計です（図表18）。大地震時の被害を小破にとどめるための要求性能として、最低基準である 0.3 倍の建物強度に対して 0.4 倍の強度は確保し、さらに、その強度が非常に小さい変形角で発揮されることを確認する。これによってかなり高いエネルギーの消費が期待でき、応答が非常に小さいところにとどまり、実大実験のレベルでいけば小破程度の被害にとどまることが期待されるとしました。

腰壁・垂壁を付けたものについては、建物の重さの 0.55 倍程度の強度を確保し、それを 0.33%程度の層間変形角で確保することにより、大地震時の損傷は軽微にとどめることができるのではないかとしました（図表19）。

この実験では主に構造体の性能について検証しましたが、非構造部材についても実験を行なっています（図表20）。この場合も層間変形角が 0.75%程度、先ほ



18



19

どの小破のレベルを超えてくると、一般的な窓枠サッシが開閉できなくなったため、このぐらいが目標性能となるだろうということで提案しました。

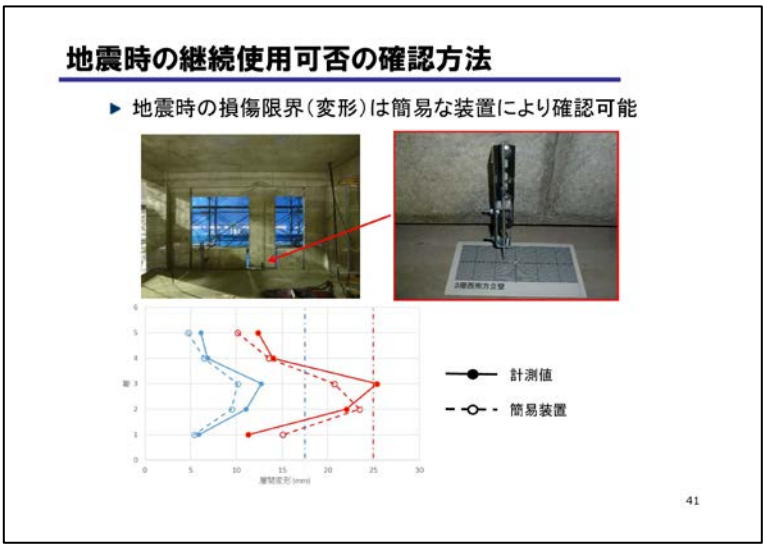
また、地震時の継続使用の可否についても、免振のケガキのように、スリット部分をうまく使い、ケガキで残留変形を計測することで簡易に判断できないかということを試行的に行いました（図表21）。

5.災害拠点建物の要求性能

これらの結果から、災害拠点建築物として要求される性能は、大地震に継続使用できることであり、そのためには応答変位を小さくし、想定を超える大地震に対する一定程度の安全性を有する必要があるということがいえます（図表22）。

架構変形角	1階変形角	スリット追従工法（北側）						既存工法（南側）					
		引違い窓			押出し窓			引違い窓			押出し窓		
		損傷	開閉	施錠	損傷	開閉	施錠	損傷	開閉	施錠	損傷	開閉	施錠
0.250%	0.187%	△	○	○	△	○	○	△	○	○	▲	○	○
0.500%	0.403%	▲	○	○	△	○	○	△	○	○	▲	▲	▲
1.000%	0.826%	▲	○	○	×	▲	×	×	○	×	×	×	×

20

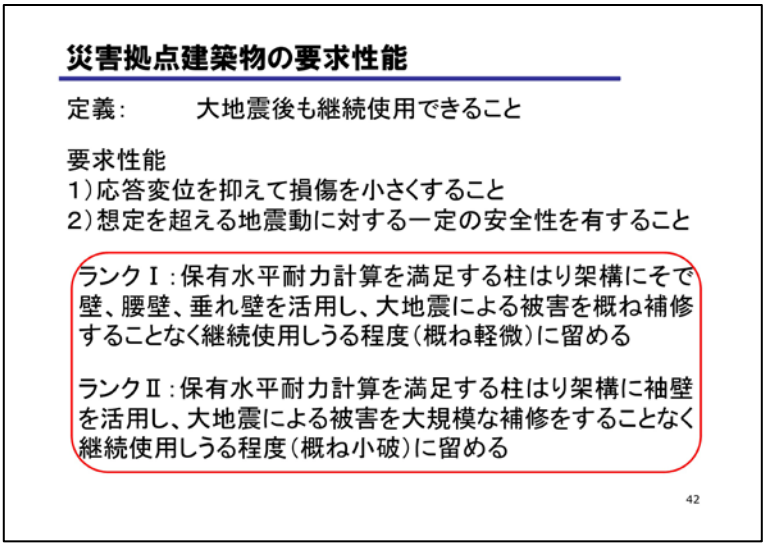


21

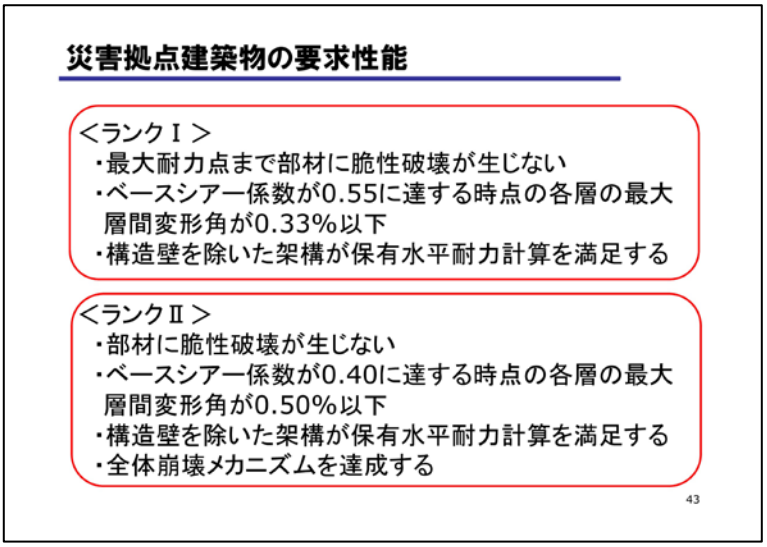
目標性能としては、大地震時におおむね補修することなく継続使用できること、被災度でいうと軽微ぐらいを目標とすることをランクⅠとし、もう少し損傷しても構わないが大きな補修をすることなく継続使用できること、被害度でいうと小破程度にとどめることをランクⅡとしました。

このため、ランク1については、建物の強度を示すベースシア係数0.55程度を、最大層間変形角 0.33%以内で達成することを求めており、ランクⅡについては、建物の重さの 0.4 倍程度の強度を層間変形角 0.5%以内で達成することを求めています（図表23）。

さらに、壁をうまく活用することが本プロジェクトの骨子であり、壁が圧壊して壊れてしまうと元も子もないので、壁厚については 200mm 以上という通常の壁よりもかなり厚いもの、かつ柱幅の 4 分の 1 以上にすることや、壁が壊れない



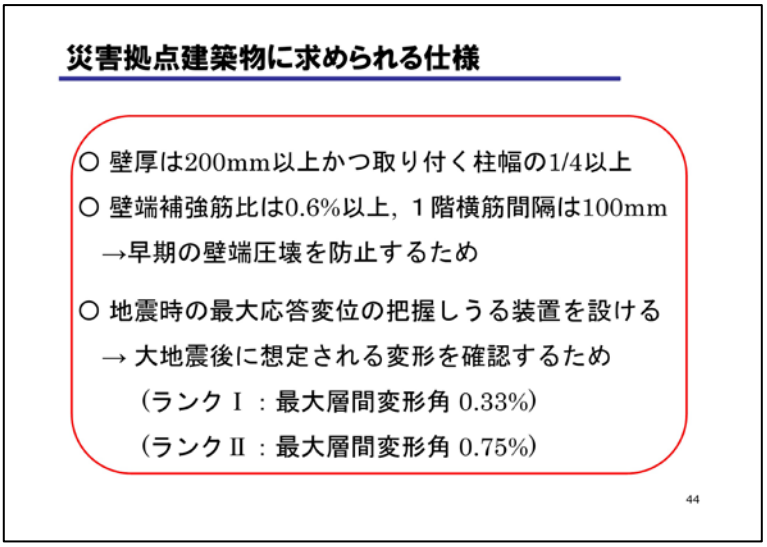
22



23

ように横補強筋の間隔等を定めて、これらを仕様規程に追加するという基準になっています（図表24）。

詳細な設計のガイドライン案については、国土交通省の国土技術政策総合研究所のホームページで公開されているので、興味のある方はご覧ください。



24