

第2章 特別講演

過年の地震被害に重ねる 2016 年熊本地震による建築物被害

東京大学 名誉教授

久保 哲夫

第2章 【特別講演】 過年の地震被害に重ねる 2016年熊本地震による建築物被害

(東京大学 名誉教授 久保 哲夫)

《プロフィール》

- ・東京大学大学院修了後、同大工学部助手、建設省建築研究所主任研究員、名古屋工業大学教授、東京大学教授（工学系研究科）を経て現職。1998年1月から2004年3月の間、防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センターチームリーダー（破壊・脆弱性評価チーム）を兼任。
- ・建築構造（主に、鉄筋コンクリート構造）、地震工学、耐震工学等を専門とする。災害軽減、防災等を通じて社会への還元をめざす。
- ・国土交通省社会資本整備審議会委員、同建築分科会長、同分科会建築物等事故・災害対策部会長・建築基準制度部会長、建築法体系勉強会座長等。地震調査研究推進本部強震動評価部会委員、総務省消防庁防災拠点となる公共施設等の耐震化推進検討委員会委員長、文部科学省学校施設の耐震化推進に関する調査研究委員会委員等。今回熊本地震では国土技術政策総合研究所建築構造基準委員会より熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会共同委員長として被害原因分析に加わった。

国土技術政策総合研究所講演会
2016年12月8日
於いて: ニッショーホール

過年の地震被害に重ねる 2016年熊本地震による建築物被害

2016年熊本地震の概要
2016年4月14日 21時26分頃: M=6.5、最大震度 7
2016年4月16日 01時25分頃: M=7.3、最大震度 7

2016年4月21日発表の「平成28年（2016年）熊本地震について（第23報）」（気象庁）
※「平成28年（2016年）熊本地震」（4月14日21時26分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動を指す）

国土技術政策総合研究所講演会
久保 哲夫
東京大学・名誉教授

December 8, 2016

ご紹介いただきました久保でございます。本日、私、年代をややかぶり過ぎたかなというところがありますけれど、過年の地震被害による、今回の熊本地震の建築物被害を少し総括してみようという試みです。私、専門が建築なものですので、話が建築の分野に限られているという点を最初にお断りしておきたいと思います。

本日、皆さま方にご覧いただくパワーポイント、先日の9月29日に国総研と建研の合同の速報会が

ございました。その中で国総研と建研の方々がおつくりいただいた中から何枚もスライドをそのまま使わせていただいております。

講演内容の概要：

- (1) 2016年熊本地震の地震・被害の概要
- (2) 経験工学としてみる耐震工学からの過年の被害地震と耐震工学研究・耐震設計の変遷
- (3) 熊本地震による建築物の被害概要
- (4) 熊本地震による建築物の被害から学ぶこと

今日、私の話の内容は、大体大まかに言って 4 つに分かれます。どういう構成にしようかなと思って、最初に熊本地震の、ざっとどのようなことが起こったかをもう一度復習、今日ご出席の皆さま方の中で現地いらした方は分かっていることでしょうけれども、なかなか現地に行く機会のない方についてはこんなことが起こっていましたと最初にお話しして、それから 2 つ目の体として、ここが過年の地震に重ねるという意味で、経験工

学としての耐震工学、これは私の恩師からも言われたことですが、耐震工学は経験工学だったと。これがいいか悪いかは別ですが、一体どのようなことが地震の教訓を得て我々は耐震工学を進めてきたかという点での 2 つ目です。3 つ目に、もう一度、過年の地震を振り返ったときに熊本地震で起こったことはどのようなことだったかを、もう一度ご紹介して、最後に今回の熊本地震から今後学ぶことと、また、次の世代の方々が同じような轍を踏まないようになって欲しいと思います。

2016年熊本地震の地震・被害の概要

- ・内陸活断層を起震断層とする地震
→ 地表に断層断層が形成
- ・JMA震度7の強い地震動が観測
→ 震度7の強震動が複数回(2回)発生 & 多数の余震
- ・地盤液状化の発生
- ・既存不適格建築物の被害 (Stockとしての建築物被害)
→ 1981年耐震規定改定前のR/C造、S造、W造の既存不適格建築物の被害
- ・2000年の仕様規定明確化後のW造建築物の被害
- ・1995年兵庫県南部地震以降に普及した免震構造建築物の被害
- ・天井材の落下等の非構造部材の被害

今回の熊本地震、どのようなことが起こったかで私なりにいくつかまとめてみたものが1番から7番、7つございます。1つは、内陸活断層を起震断層とする地震であって、地表に地震断層が現れたと。2つ目、これはよく報道関係でも言われているように、強い地震が観測されて、それも複数回あったと、余震の回数も非常に多かった、それから、液状化もありました。それから既存不適格の建築物の被害、今の国土交通省の方の大きな問題でも

ある、いわゆる既存不適格建築物の耐震化といったような問題点。それから木造に関しては、これは後での年代の話になりますけれども、2000年という年だけ覚えておいていただければ結構ですけれども、2000年の使用規定の明確化された後の木造建築物が比較的被害を受けた。実はそれまで被害はなかったのでしょうか。それから、95年の兵庫県南部地震以降に普及した免震構造物に被害があった、それから天井材の落下という、この7つについて、特に熊本に行く機会のなかった方に、一体どのようなことが起こったかを概論としてお話ししたいと思います。

2016年熊本地震の地震・被害の概要

・地盤液状化の発生



※ 熊本市内において強く揺らめられた地域。M液状化: 市内を流れる白川沿いの地域。




写真: 液状化発生により建物周りの地盤沈下が認められたM液状化。

2016年 9月 20日

液状化も実はありました。これは熊本市内に白川という川が流れていますけれども、この写真を撮った場所はここに当たります。やはり昔の河川敷の跡でしょう。川の流れた、これは熊本市の南区だったと思いますけれども、そこにある建物に高さにして60cmぐらい、私のひざより少し高いぐらいの液状化が出ていました。ちなみに構造物はまったく被害がなく、現在も使われている。

2016年熊本地震の地震・被害の概要

・既存不適格建築物の被害 (Stockとしての建築物被害)




写真: 既存不適格の鉄柱コンクリート造仕物の層形。写真左上: 1階駐車場が崩壊したK1階。写真右上: 崩壊が認められなかった1階高層の心柱(鉄骨の柱)と写真右下: 1階駐車場に斜交支持サポーターが取り付けられていたK1階。建物は築年数は異なるが、概ね、1981年以前の角高窓仕様の洋風による既存不適格建築物である。

2016年 9月 20日

既存不適格建築物についてはどうかというと、これは1つのブロックの中の建物ですけれども、1つの建物は駐車場として使われている1階が総崩壊したという、まさに典型的な被害です。これの横に建っている、やはり既存不適格で、これは1階が駐車場ではなくて店舗に使われていて、同様にやはりピロティに近いのではないかと思いますけれども、こちらはこういう状態、無被害に近い状態。比較してみるとやや年代的に新しくて柱が

太い。それから、この建物はこの建物の向かいに建っている建物で、やはりピロティですけれども、こちらのような総崩壊には至らなかったけれども、たぶん総崩壊に近い形で使われない状態で、やはり色々な状態の建物が存在していると。

特徴③ 「溶接部等で破断」の事例

建築物O1 (建設年1987年頃): 「倒壊」

4階建ての店舗併用住宅
角形鋼管柱とH形鋼梁のラーメン構造




2階が完全に層崩壊している
⇒完全溶け込み溶接にすべき部分をすみ肉溶接し、不適切な溶接施工が要因と考えられる

柱梁接合部パネルとダイヤフラム間の溶接部の破断

21

独立研究開発法人 建築研究所 Building Research Institute

あと、鉄骨構造で言えば、これは益城町の中で、写真を見ると3階ですけれども、実はこの階に1階中間層が完全崩壊した建物があって、問題点としては、やはり溶接の問題とか、ダイヤフラムという柱と梁をつなぐ接合部の問題といったような形で出る被害。

2000年以降倒壊建物



22

それから、2000年仕様という形で木造住宅が、後で若干触れさせていただくことがありますけれども、2000年のときに木造住宅に対する、主にジョイント関係の仕様を明確化した時がありました。それより以前の建物、以後の建物でやや性能が違うという理解で、2000年以降の仕様規定が明確化された後の木造被害で、この建物、この建物、ジョイントを細かく撮っていただいたのがこれです。金物は使われていますけれども、何かジョイ

ントに問題がある。

現地調査結果(免震建築物の被害の特徴)

① 構造耐力上主要な部分の損傷

- ダンパー取り付け基部の損傷(2棟)
- 外付け階段部分の損傷(3棟)



② 免震材料の変状(多数)

- 化粧部分の変状
- 被覆等の変状
- 部材の残留変形等



③ クリアランス部(エキスパンションジョイント等)の変状(多数)

- エキスパンションジョイント及びカバーの変形
- クリアランス部における接触等



23

国立研究開発法人 建築研究所

Building Research Institute

も意外な、現地に行ってみると、こういうことを何で見逃してきたのかなと。もう少し考えるべき点であったかなと思いました。

それから、免震材料にかなりの損傷、残留変形という意味での損傷が出たと、最後のエキスパンションの問題。

■ 吊り天井の被害① 特定天井



国土交通省
国土技術政策総合研究所

National Institute for and Infrastructural Management

25

それから最後、熊本地震のレビューで言えば天井材の落下等の損傷で、いくつかのホール建物、もしくは体育館で天井材が落ちていると。ここは大丈夫でしょうかねと言いたいところですけど。そんなような被害が出てまいりました。

これが今の1番で、大体熊本地震で何が起こったかというレビューをした後ですね。過年の地震でどのようなものが見られたかをお話したいと思います。

第二次世界大戦後の建築学会の発展

被害地震と関連する主な耐震構造研究／構造規定の制定・改正等

年	被害地震	耐震構造研究／構造規定等
1880	横浜地震	・日本地震学会の設立(1880) ・造家学会(現・日本建築学会)の設立(1886)
1891	濃尾地震	・震災予防調査会の設置(1892) ・市街地建築物法の制定(1919)
1923	関東大震災	・市街地建築物法施行規則の改正(1924) ・「水平震度0.1以上の規定:世界初の法的震度規定」 ・「RC造構造計算規定の制定:日本建築学会(1933)」「極力分布係数法」の提示
1943-46	鳥取・東南海・三河・南海地震	・日本建築規格建築法2011の制定(1947) ・「長期・短期の許容応力度を導入」 ・「設計用水平震度を0.2以上に引き上げ」
1948	福井地震	・建築基準法の制定(昭和25年(1950年)5月24日法律第201号)
1964	新潟地震	
1968	土曜地震	・基準法施行令の改正(1970)「構造規定、高さ制限の廃止」 ・日本建築学会RC計算規準の改正(1971)「せん断補強筋に関する規定」 ・建設省省庁新耐震設計法の開発(1972-1976) ・新耐震設計法(案)の提示(1977)
1978	宮城県沖地震	・建築基準法耐震規定の改正(1981)

September 3, 2016 -26-

実は我々、結構過年の地震のデータを持っていますね。少し私のレビューは古いところからスタートしますが、結構データを持っていて、どのようなことをやりたいかという、どこからスタートしたかという、横浜地震、1880年からずっとスタートして2011年の東日本地震で終わっています。地震が起こって、どういうアクションが起こったかという、ちょうどこのころ帝国大学に外国人教師としてきていたジョン・ミルンという

の方が地震学会をつくろうと、地震が起こったのが2月か何かで、2カ月ぐらい先に日本地震学会というアカデミックな組織ができていました。建築学会の前身である造家学会ができています。91年の濃尾地震、アンダーラインを引いたのは、少し後で2~3枚、画像データをご紹介します。濃尾地震、これは11月28日だったと思いますけれど、私、100周年のときに少しデータを集めたことがあります。当時の学生だったと言われる地震研究所の今村先生が翌日には現地に行かれたり、内閣総理大臣も現地に行ったりしています。記憶だと浜松ぐらいまでは電車が動いていたけれども、そこから先は不通で、あとは人力車等を使って動いたという、そのようなデータが残っております。

これも少し画像情報をお話ししますが、やっぱり日本で地震研究をしなくちゃいけないよ、当時の菊池大麓等を含めた方々が震災予防調査会というのを翌年に設置し、多額の予算を用意して色々な研究をしました。細かいところでは木造校舎の耐震性とか、今でも我々が見ると参考になるような資料が出てきております。この震災予防調査会、発展的に関東震災の後に組織替えがあって現在の東京大学に付置されている地震研究所という組織になって、この組織は残っています。

法的に言えば、市街地建築物法が制定されて、この中に水平震度0.1という形で建物、対象物は日本全国ではなく、建築基準法が対象としている日本全国の建物ではなくて市街地、たぶん8つの地域だったと思います、市街地の建築物に対して耐震設計をなさいと。震度0.1という、日本初の法的震度規定になっています。

これは私も私の恩師から言われたことですが、日本はわりと早くスタートをした。震度という概念でスタートをしちゃったから、なかなかその後、これに拘泥されてというのか、それを発展する機会がなくてずっと震度というのをを使ってきて若干世に遅れてきた時代があって、それが1978年の基準法の改正のときに震度法からせん断力係数法に移るまで、ずっとこの震度0.1というのが、震度と0.1というのがずっと続いてきていることになります。

建築学会ではその前後して、昔、この時代、皆さんそんな計算をされていないと思いますけれども、武藤先生のようなD法のような、水平力が与えられたときにどういうふうに鉛直部材に荷重分担を回って部材を設計するかという計算法が提示された。

この辺りはちょうど戦争中に当たります。鳥取、東南海、三河、南海と、大きな地震があり、結果的には今の浜松にあるような中島航空製作所みたいなところが地震によって被害を受けて航空機産業をつぶして日本の終戦を早めたというような話もあります。

この間、あまり正確なことではないかもしれませんが、戦時中に建築規格第 3001 というのが決められて、ここで荷重が長期、短期という 2 つの概念、今で言えば皆さん当然だと思いますけれども、長期荷重、短期荷重という概念が入ってきて、許容応力度が倍になったわけですね。長期に対する許容応力度、短期に対する許容応力度という形になった。この段階で設計震度が 0.1 だったのが 0.2 に引き上げられました。この理由はたぶん、私の恩師の先生から正式な授業ではないときに聞いたのは、やっぱり戦争で材料が少なくなってきたから、その材料の有効活用を図るために荷重を長期荷重と短期荷重に分けたということを漏れ聞いております。

基準法ができたのが 1950 年。この基準法の中で設計用震度 0.2 という、長期荷重、短期荷重と許容応力度はずっとありますけれど、この歴史を見ていただくと、ここに戻ってきます。逆に言うと、それから日本の耐震に対する荷重の考え方は変わっていないという理解かもしれません。

十勝沖地震、これは基準法の改正で、いわゆるせん断補強筋の改正で、帯筋と書いてありますけれども、私がよく言う横補強筋の改定、学会も改定して、ちょうど建築基準法制定の 1950 年から 20 年もたったからで、当時の建設省が総合プロジェクトで新耐震設計法の開発をスタートして、1972 年から 5 カ年の計画で 1976 年。案が提示されて、宮城県沖地震が起きて、これが今の我々が使っている耐震設計の基準の考え方のベースになりました。

年	被害地震	耐震構造研究/構造規定等
1995	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	・建築物の耐震改修の促進に関する法律の制定(10月27日法律123号公布) ・昭55年告示第1791号及び第1792号の改正、R.C造等の建築物の特定階における階間防止措置に係わる措置(12月11日付改正、12月25日付施行)
1998		・建築基準法の一部を改正する法律(即時、1年目、2年目施行分より構成) ・住宅の品質確保の促進等に関する法律 ・改正建築基準法(2年目の施行、2000年6月施行/仕様の明確化)
2000		(1) 建築物の基礎の仕様規定の明確化(令第38条) (2) 木造建築物の耐力壁の配置規定の明確化(令第46条) (3) 木造建築物の継手、仕口等に係わる仕様規定の明確化(令第47条) (4) S造の柱脚の仕様規定の明確化(令第46条) (5) S造の階梁等に係わる規定の整備(令第67条) (6) R.C造建築物の主筋等の継ぎ手に係る規定の明確化(令第73条)
2000	鳥取県西部地震	
2001	芸予地震	・「震予地震被害調査報告の送付について」(技術的動向)にて落下防止対策を勧告(国住指第357号、平成13(6月1号))
2004	新潟県中越地震	
2011	東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	・設備機器類の転倒防止、平成24年国土省告示第1447号、平成12年告示第1388号「建築設備の構造耐力上安全な構造方法を定める件」を改正 ・天井の落下防止、平成25年国土省告示第771号「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件」 ・「天井」等の落下防止、平成25年国土省告示第1046号「地震その他の震動によってエスカレータが脱落のおそれがない構造方法を定める件」

兵庫県南部地震が起これ、これが与えたのは既存不適格建築物に対する問題で、耐震改修促進法が出てきた。基準法の改正が 1998 年に行われて、これは即時施工分、1 年目施工分、2 年目施工分の中の 2 年目施工にかかわって、先ほど申し上げた木造基礎の仕様の明確化だとか、木造建築物の耐力壁の配置に関する整備だとか、木造建築物の継ぎ手仕様等に係る仕様規定の明確化、これが先ほどの、最初に大きく熊本地震を概説したときに挙げた 2000 年規定の木造建築です。

2000 年以降にできた建築物はこれを満たしているし、2000 年から先ほどの 1981 年、2000 年は木造に当たりますし、鉄筋コンクリート構造に対して言えば、せん断補強筋の改定の 1971 年と 1981 年というのが大きな構造物の性能の 1 つの節目の年に当たります。

今回の熊本地震に非常に類似しているのが 2000 年の鳥取県西部地震を挙げました。それから芸予地震と東北地方太平洋沖地震と。東北地方太平洋沖地震は、これは皆さんご存じのように非常に多くの人命を奪いましたけれども、基本的には津波被害でした。ただ、建築に対する震動被害はまったくなかったかというところではなくて、やっぱり震動による被害もありますので、私のアンダーラインの書かれているレビューの中では震動被害について少し紹介していきたいと思っております。



最初の濃尾地震、濃尾地震は古いですが、結構写真は残ってまして、これは岐阜県、当時と建物は違いますから、こんなものかなというところもあるかもしれませんが、木造建物は全壊。これは名古屋市内、名古屋市、ご存じのように近くに一宮市というのがあって、昔の紡績産業。ヨーロッパ直輸入のレンガ造の建物がたくさん建っていて、それが被害を受けた。それに対していたぶん明治政府が非常に危機感を覚えて、これから

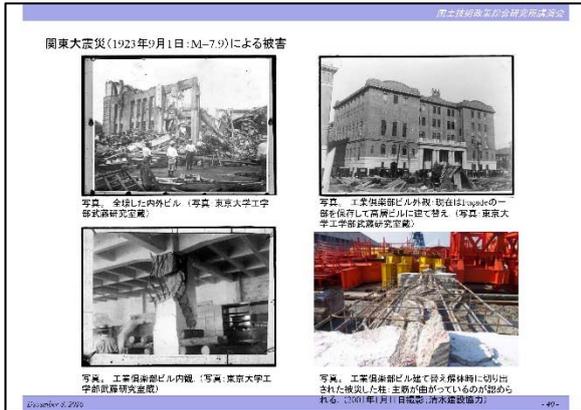
産業振興をしなくちゃいけない、色々な設備が建っているけれども、レンガ造建物がまったく地震に対して脆弱であったので、先ほどの震災予防調査会がスタートした。これは東海道線の長良川鉄橋ですけれども、鉄橋の落橋というのも起こっている。



濃尾地震で挙げたいのは、最初に熊本地震で、いわゆる起震断層が内陸地震であって、右横ずれ断層が出たという話ですけれど、実は濃尾地震はもう少し規模が大きい。これは当時調査に行かれた小藤先生が撮られた写真だとされています。これは後で私がほぼ 100 年後に行ったときですけど、大体同アングルで見させていただくと分かりますが、このぐらいの角度を持っています。高さが大体 2 メーターから 3 メーターぐらいの段差がまだ

現状は残っています。先ほど右横ずれ断層 2 メーターというのが今回の熊本で観測されたと言いましたけれども、やはり濃尾地震はもう少し規模が大きくて、大体 8 メータぐらい横ずれ断層。これが残っています。ですから、起震断層があって横ずれ断層が生じるというのは、言ってみればこのときから我々は分かっている。

あまりこれを言ったことがないで、当時名古屋にいらした飯田汲事先生という方、名古屋大学の名誉教授だったのですけれども、中を行かれて、やぶの中に行くところというような、大森の亀裂と言いますけれど、亀裂が残っていると。たぶん今回の熊本も西原村とか、そのようなところへ行くところというのが残っているのではないかと思います。



柱がこれで、このような損傷をした柱を残したまま、どうも増打ちして内外ビルはしばらく建っていました。これは切られてこんな形になっています。こんな形で、現状はもう曲がっています。撮ったのが2001年ですから今から十何年前ですけども、こんな形できれいに残っています。



て、これは右が下がればいいですかね。変形の関係で斜めのスリットが出ています。今回の熊本地震でも市内の財務局の建物でしたか、そこで同じような被害が出ているのが分かると思います。

もう1つ、これも後日談ですが、工事に当たられた大成建設の方から資料提供を受けましたけれども、地震後ある程度経ってから建て直そうと思って掘ってみたら杭がぼとぼと落ちていたと。ところが、1964年の新潟地震から2000年ぐらいまでにかけてその間ずっと何ら支障なく使っていました。これが液状化の問題です。



関東大震災は、これは皆さんお分かりのように、内外ビルとアメリカ直輸入の建物が損傷して、内藤多仲先生の、いわゆる壁構造がちゃんと持ったとよく言われていますけれど、これは工業倶楽部です。工業倶楽部の中の写真を見るとせん断破壊というのも当時はあったのだとわかります。

実はこの内外ビル、一番右の写真はその後の後日談に当たりますけれども、これは最近超高層ビルに建て替えられました。そのときに切り出した

新潟地震。新潟地震は液状化でよく言われました。実は飯田先生の話によると、濃尾地震でも液状化は随所に見られましたが、ここでは新潟地震の記録でご紹介したいと思います。

これは有名な昭和の大橋の落橋と昭和石油の火災問題、液状化で言う川岸町アパートの転倒で、これは住民にはまったく影響がなく、地震の後、ずるずると倒れたという液状化の問題です。こちらの写真を見ていただくと、これは液状化によっ

十勝沖地震です。これはRC構造の研究なり、設計をおやりの方には非常に大きなインパクトを与えた地震だったと思います。せん断に対する問題で、これは私のいた大学の方で、この建物を使って後日に加震実験をやったデータが残っていますが、学校校舎の北側後面が、いわゆるせん断破壊を起こしている。当時は腰壁、垂れ壁は、あつて悪いという話にはならなかった。それがあることによって部材の可撓(かとう)長さを短く

することに対する考えがなかったものですから、これでよいとされていました。これがせん断破壊です。それから、大きく二方向の二軸曲げを受けたような建物がありました。これも今回の熊本地震でも同様な被害がありました。



宮城県沖地震。宮城県沖地震は、今回主催されている国総研が国の耐震規定という観点から見ると基準法の耐震規定の改正に少し影響を与えた地震だと。1つは、立面方向の剛性がアンバランスで下がつぶれたと。それから平面方向の剛性がアンバランスで、いわゆる軟らかい方、ねじられる方の応答で隅部が壊れた。ちなみにこの建物のこの部分が階段室になっている関係上、わりと耐震要素が入っていて、その反対側の後面が、いわゆる

フレーム的な構造、特に1階は2階、3階とあった壁が抜けている関係上、大きな変形が出てねじられたものです。



ほかにもこの宮城県沖地震では外装材の落下、それから外壁の破損。これは地震の直後ではありませんけれども、その後に杭の被害、建物が沈降しているが分かって、後で杭を見に行きました。何をメモしているのでしょうか、この杭のせん断破壊でしょうか、ご覧になって分かるように、本当にねじり応力による準せん断による破壊に当たります。それから、杭頭の曲げに当たると思われるような杭の被害が1978年、宮城県沖地震のとき

に出ています。



兵庫県南部地震。これもかなり大きなインパクトを与えたと思います。木造の被害や、火災が起こりました。それから、よく言われているのは1階がSoft-storyだった建物がつぶれたと。万人が納得する理由はまだ導かれていないものの中層層が壊れたと。それから、左側は古い、横補強筋の改定前の時代の建物で、これはせん断破壊の代表的なものに当たります。学生に見せてもこれはせん断破壊であるとわかります。せん断補強筋、右側

はご覧になったら分かるように、横補強筋は左に比べるとかなり密に巻かれています。これは新しい方の、横補強筋の改定後の建物ですけれども、このぐらいの被害を起こしました。

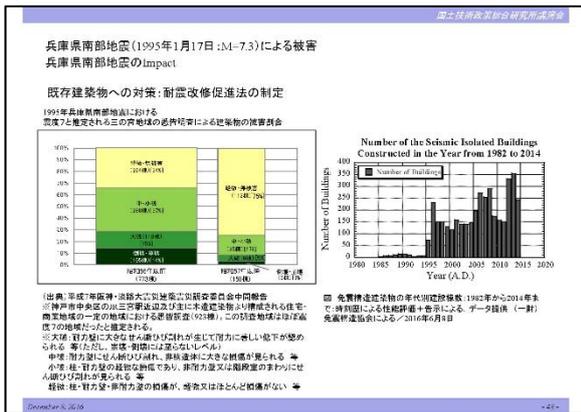


液状化の被害も見られていて、これは神戸のポートアイランドですけれども、ちゃんと支柱の下まで、支持地盤まで地下構造がつくられているからいいですけど、周りが沈下し、液状化も起こっています。

それから、このころから建物は新しくて、そう大きな損傷は見られないですけども、ドアがひずんでいるのが分かると思います。ドアがひずんで、結果的にはドアが開かなくなっております。

これを境に耐震ドアという概念が出てくるものに当たります。

このようなどころの集合住宅の北側の、これはおそらく浴室と北側の部屋という関係の壁の損傷です。左側は比較的新しい建物ですからこれで済みましたが、右側の古い建物はドアが閉まらないぐらいひずむという、集合住宅の北側後面の構造計画があまり望ましくない形のところ被害が起きている。



兵庫県南部地震のときは結果的にどうい対応をされたかということ、ここに年代別の建物の損傷度が書かれていて、右側が、いわゆる新耐震と言われている1957年以降の建物で、色の濃いのが被害の大きいもの、薄いのが被害の軽かったものと、軽微と無被害に当たります。この調査による三宮辺りを対象とする全数調査によって1981年以降の耐震基準を満たせば、おおむね性能は満たされているだろうとのことで、基準法自身の大きな改正

は行わなかったものの、既存建築物に対する手立ての必要性が認識されて、この年に耐震改修促進法と、基準法とは別個の枠の法体系ができています。

もう一方、右側は、免震構造協会からのデータですけれども、免震構造物、どのぐらいできているかということ、最初できたのは1982年、この辺に1棟建てました。神戸市内には免震構造はなかったのですけれども、1995年1月に起こった地震で、神戸の北の方にあった免震構造が比較的地震時にいい性能をしたので、1995年以來ずっと免震構造が増えてきて、今、2014年までのデータですけれども、年間を見て300棟ぐらい出ているという、このような時代背景が、今、我々のところにあります。

この虎ノ門界限をご覧になっても、いくつかの建物が免震構造として実はできています。



鳥取県西部地震。これは2000年の方ですけども、地動加速度がご覧になるように900、700、700、600、500 というような感じで、かなり大きな地動加速度が出ています。この鳥取に関して言えば、先日の10月の地震も含めて、活断層がないところに何で地震が起こるのかで、これは地震をやっている人たちの中での1つの話題にはなっていますが、私のようなエンジニアの立場から見ると、内陸で起こって、結構大きな地震が観測されて

て、被害はどうだったかという、このような被害です。



木造建物の倒壊、それから、わりと古い建築に当たる社寺仏閣の倒壊。阿蘇神社もこうだったな、木造も壊れたな、天井も落ちたなど。これは落ちていないです、ずれです。天井もずれたなど。既存のRC造も壊れたなど、これはパターンとしてはまったく類似性が非常に強い地震です。ですから、鳥取県地震のときに我々はこれを分かっている、これに対してどういう対策を取ったか、何をしておけばよかったのかというのが今の反省点に当たる

のではないかと。



芸予地震。芸予地震はやはり天井の落下被害で、この後国土交通省の方から天井の落下防止対策が出たと思いますけれど、その被害の要因はこんな形で天井が落ちています。当然この地震だけではなくて、先ほど少しご紹介した、その前に起こった2000年の鳥取県地震でも天井も落ちています。



最後の東北地方太平洋沖地震です。これは津波の被害に関しては、今回、私の方は皆さん方にご報告する内容ではございません。右側は、先ほどお見せした1978年の宮城県沖地震のときの仙台市の卸町にあった建物です。

今回、実は同じ地域、区制が引かれたので若林区卸町になったのですが、この建物を見てい

ただくと、こっちに階段室があつてこちらに壊れている。まったく同じ被害です。左側のビルが、東北のアイビルというのが、宮城県沖地震のときに損傷を受けなかったのは、若干損傷に達するパワーが少なかったのでしょう。今回の東北地方太平洋沖地震の方が大きかった。だから、また同じ被害を再現させたことになっている。

既存建築物の耐震改修促進という観点から言えば、この建物を耐震改修しておけばどういふ、被害になったのか、この被害が防げたのかという、そのような議論が出てくるかもしれません。これはそのまま放置されたので 1978 年と同じ被害が出た。先の地震で起きなかったのは、今回の方がやはり少し強かったから。



同じく高層住宅の中でもこういう、建物全体は何となく建っていますけれども、廊下側の玄関とか、浴室が設けられている壁だとか、それから、南側のベランダの方立て壁の被害が出ている。少し詳細はこんな形になっています。内部に入るとこういう形です。これは東北大学の前田先生からの資料ですけど、前田先生のいう二次壁の被害になります。



あとは天井材の落下で、これは先ほどの鳥取地震だとか芸予地震、物の性格は同じですけど、規模はやや大きくなって、どんと天井全体が落下してきている。1つは、たぶん年代が新しくなっていて、現在のホール建築、音響の問題か何かで、特に左側に書かれているコンサートホールの天井は、普通よりも重かったと考えられます。

エスカレーターなど、新しくこの 11 年の東北地方太平洋沖地震でも免震装置のところに部分的な

損傷が出てきています。



次の 3 番目、1 と重複するところがありますけれども、もう一度、熊本地震による被害の概要です。調査は益城町があつて、熊本市があつて、熊本空港がここにある。



このような感じです。大きな地名としてご記憶いただきたいのは、県道 28 号線というのがここを通っていると、秋津川という川がここに流れている。この 2 つだけ。まち全体は北側が高くて南側が低くなるという、大きく斜面構造を取っています。



地理的にはどのような被害かという、益城町では木造住宅の被害が出てきます。ただ全体の被害率から見ると被害率は結構高いです。ただし、外見上無被害のものも残っている。



これもその地域ですけれども、これと同じ建物ですけれども、すぐ横に地震による地変が見られますが、なぜかこの建物の隣に建っているこちら、ガラスも割れていません国総研の検討会の中でも壊れた原因、これは確かに調べて欲しいですけど、壊れなかった原因って何だろうと、何でこの建物が、瓦等は落ちていますが、ガラスも割れていないというような事象がありました。これは今後、国総研建築研究所の中でも、何で壊れなかったについての検討

討をぜひ進めてもらいたい。

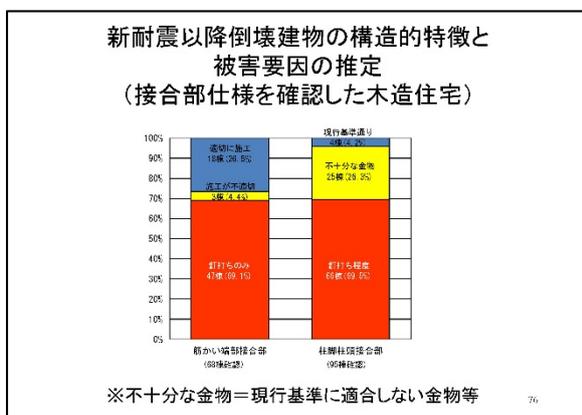


これが先ほどの 2000 年のもので、これは先ほどのスライドの再録に当たります。



その中で少し私も現地に行く機会がありましてそのときに、どうしてかというのが実はこの建物で、これは2000年以降ですけど、平家建てです。平家建ての建築物が地震で壊れるというのは、正直言って、今までの生活信条にはなかった。平屋は壊れないと思っていたのですが、平屋のRC造はともかく、平屋の木造がこういう壊れ方をした。これはブレースが割れている。色々な理由がありますが、正直言って、木造の方から、正確な、これ

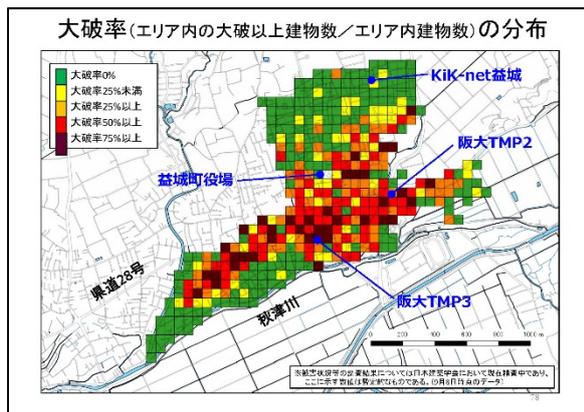
れぞ決定要因というのは伺っておりません。この建物の横にこの建物がありますが、東西と南北と90度ずれていますけれど、こんな形で瓦も落ちないで建っている。ですから、壊れなかったものが何で壊れなかったか、ちゃんとこれから見ていく必要があるのではないかと。



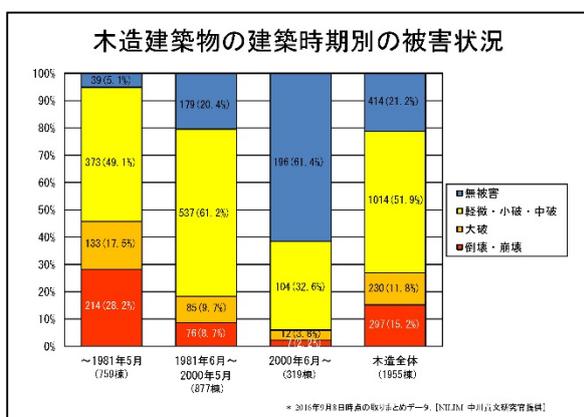
全体の被害率を見ると、これは国総研の中川さんからのデータですけども、やはり接合部、不十分な金物、いわゆるジョイントの問題になる。益城町の被害、ここに中川さんがまとめていただいたのでそのまま使わせていただきます。やはり古いもの、それから、特に筋交い端部といったところで、くぎ打ちだけで済ませてしまう。いわゆる金物が使われていないもの。

- ### 益城町の被害状況(まとめ)
- ・ 築年数40年超と推測される木造住宅、県道沿いの店舗併用住宅の倒壊・部分破壊
 - ・ 築年数20～40年と推測される木造住宅の倒壊・部分破壊が多い。柱脚柱頭、筋かい端部を確認できたものは釘打ち程度の比較的軽微な接合方法。
 - ・ 木造住宅の被害が多いエリアで外観上無被害の木造住宅が存在
 - ・ 県道28号から北側に500mほど離れると被害が少ない
 - ・ 安永地区では県道28号から南側の被害が大きい
 - ・ 秋津川に近いエリアでは被害が少ない

場所的には、先ほど地図の中で申し上げた県道から北側が多い。意外なことに秋津川といった川の近くでは被害が少ない。普通、川が流れていると、先ほどの熊本市の中での液状化の話をしたと思いますけれども、旧河川敷は地盤が悪いと。被害も高いというのが世の常識というか、わりと広く受け入れられる概念だったのですけれど、秋津川に近いエリアでは少なかったです。



それを示しているのがこれです。国総研建築研究所と日本建築学会が合同で行った、この地域での全数調査の結果です。赤い方は大破率が大きく、緑の方が低いです。どこが高いかということ、この地域が高く川沿いは低いと。それから、益城町役場の北側、この辺りはわりと新興住宅ですので、新しい住宅が多いという理由もあり、地盤の問題もあるのかもしれません。北側から南側への傾斜地だと申しました。



年代別に被害率を取ってみると、年代が1981年までの旧基準、それから1981年に建築基準法の耐震関係規定が変わったとき、保有耐力計算を行うようになった時代が1981年から以降のもので、木造に関して言えば、特に仕様の明確化が行われた2000年というのを境にして1981年の5月までの古い、それ以前の建築物、それから1981年の保有水平耐力の検討というのが入ったときから2000年まで、それから2000年以降で被害率、赤が大破崩壊で、

こういう統計データを作ってもらいました。

この統計データから、先ほど兵庫県南部地震のときの意思決定にもあったと思いますけれども、2000年以降の建物、無被害というわけではありません。倒壊したもの、大破したもの、ありますけれども、全体的には軽微、無被害を含めると90%で、この例で言う木造住宅で言えば、2000年基準は満足すれば被害率は10%程度に収まる。ゼロにするのがたぶん望ましいことでしょうけれども、ゼロにほぼ近い数字が得られているのではないのかで、今回、熊本地震の合同の研究委員会でも地震力の見直し、さらには、後で少しお話しする地域係数の関係も含めて議論はあったのですけれども、やるとしたら長中期的、中長期というよりは長中期的というような議題として我々は議論の中で残したという記憶があります。

まとめ

- 倒壊率[大破率]は県道28号南側で50%以上のエリアが多い。
- 北東の辻の城地域と、県道28号南側の秋津川に近い地域では倒壊率[大破率]0%のエリアが多い。
- 県道28号の南側では、倒壊建築物が段丘面に存在し、倒壊率[大破率]0%のエリアが氾濫平野・旧河道に存在。
- 倒壊・崩壊建築物の位置は20世紀初頭から住宅地であったエリアに存在。
- 今後の地盤調査等による詳細な分析が待たれる。

NIEDM 中川古文書調査員作成の資料(大破率)を掲載。 80

まとめはこんな感じです。県道28号線からの南側、益城で言うと南側、が大破です。あと、何が関連するかということ地盤かなで、ぜひ次のステップとして地盤調査をお願いします。

必要があるのかというと、今回の地震では、先ほど申しましたように基準法レベルでいくと、二次設計用の CO、1.0 に対して 2 倍から 3 倍ぐらいの記録が益城町で得られていて、熊本市内も 1.5 倍から 2 倍ぐらい、計算すれば分かりますが、こういう被害が出ています。



これはもう 1 個別の建物、建物は建っています。ただ近くに寄ってみると、このように損壊をしていて、住民としては、これが使えるのかどうかになります。



もう 1 件。これはかなり大破で、私も行ったときは、取り壊しかと思ったのですが、後で何人かの方と一緒にこの建物を見てみると、実は柱は無損傷です。ほぼ無損傷です。この黄色い線が柱に当たります。これはいわゆる袖壁扱い。これは方立て壁ですけど、これは外見上ですけど、柱はちゃんと立っています。これは構造体としては立っているけれども、では、このまま住めるかということと住めない。どう直すのかという、その

議論に当たるかもしれません。ちなみにこの建物は取り壊されました。

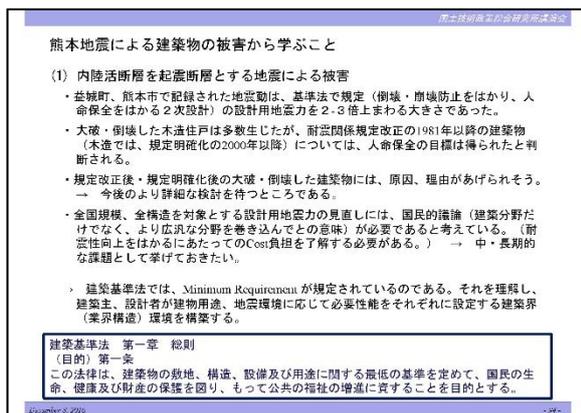


免震構造に関しては、これは先ほど申しましたように免震層が中間にあって、外階段を上から吊っていて、ここがフリーだったらいいけれども、ここにアイソレーターが入ったために、この反力をこれで受けざるを得なかったため、今から考えると力の流れは当然ですけども、そこまであるのかといったところの被害に当たります。



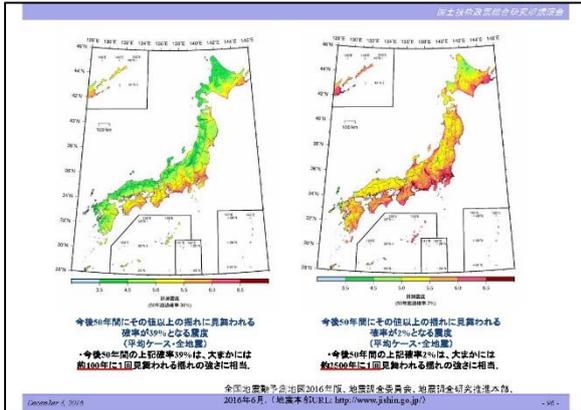
免震構造について、たぶん今回もう少し議論すべき話は、免震クリアランスだったと思います。聞くところによると、熊本地震では免震層が大体60cmからそれ以上動いたと言われています。免震の効果が十分発揮されているので、免震構造としてはまったく問題はないですけれども、やはり難しいのは、これは建築以外にも土木の方も航空、港湾の方も同じだと思いますけれども、変形に対する設計がなかなかできない。これは、クリアランスですけれども、このぐらい構わないではないかと。それは私も構わないと思いますけれども、せっかくそこまでやったのだったらもう少し何とかならないのという、やはりこういったような不連続点、上がったところ、このずれ、それから、このフェンスがどこかでぶつかっているからクリアランスが足りなかった。もっと言えば、この建物は実はこのクリアランスがぶつかったらしい痕跡が残っており、変形に対する設計という概念が少し不足していたと思います。

さて、残された時間で、今まで皆さま方に見ていただいた熊本地震の概要と、それから我々が教訓とすべき、濃尾地震から挙げましたけれども、過年の地震被害をご覧いただきました。この中から見ると、やっぱり内陸活断層を起震断層とする地震は、これは設計地震力を2~3倍上回ったと思います。倒壊建物は生じたけれども木造で明確な人命保存は図られたと判断される。全国規模に木造だけ耐震荷重を上げろというのは、これはおそ

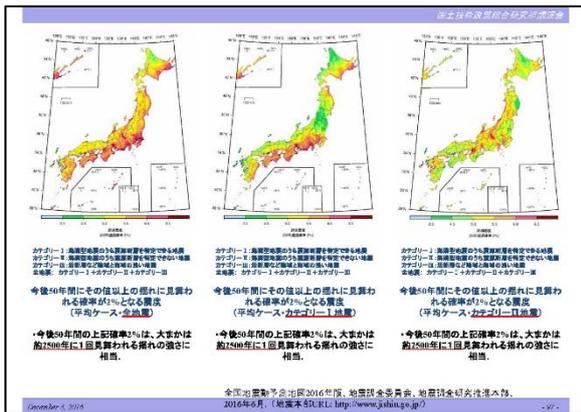


らく法的な困難を伴います。熊本だけでいいかという、熊本以外にも、ほかにも同じようなものがあるので、今後、全国規模と全構造を対象とする設計地震動の見直しには、建築分野だけではなくて、より広範な議論が必要で、これは中期課題ではなくて長期課題として考えています。

1つは、やっぱりコスト増がかかるときにどうするのかというのがあるとと思います。あとは基準法のミニマムリクワイアメントです。これは私より国総研のスタッフの方がご存じだと思いますけれども、最低基準だと財産の保護を図る、生命と財産を図るという形に書いてあり、今回、財産はどうだというご指摘がされましたけれど、これをどう見るかだと思います。



これは今盛んに言われている南海トラフ地震の影響です。今回の熊本はというと、ここですね。あまり地震がない。地震調査委員会でも、安全情報としてとらえているのではないのというような危惧を持っている方がいる。そうではなく、今後50年間にその確率が2%、つまり今後50年に2%は今後2500年に1回、2500年間で見舞われるのはどのくらいかとしてみると、当然ながら期間が長くなりますから、高くなります。



これは何かというと、中央構造線です。これをもう少し図に分けたのが左の3つのグラフです。今後50年間にという形で2500年に1回地震に見舞われる強さというのを、カテゴリー1の地震は海溝型の地震で、いわゆる南海トラフの地震。カテゴリー3というのが、一番右側ですけれども、活断層などの陸域と海域の浅い地震で出てくると、実はこのカテゴリー3の地震ということで熊本、松本、札幌辺りが、これが出てくる。今回はおそらくこれに該当しています。内陸活断層は本当に再現期間が2000年、3000年ですから、今後100年に1回起こると言われると、確率というリスクで見ると非常に低く評価されてしまいます。ところが、もう少し2000年ぐらいのレンジで起こることを考えると、別の姿が、実は日本の地震像では出てくるという姿で、この辺りはちゃんと情報として公開されていますから、評価していくべきではないかと思います。

熊本地震による建築物の被害から学ぶこと

(3) 建築物被害の低減・軽減に向けて

- ・今回熊本地震では、人命保護の耐震性能目標は基本的に達成されたと考えられる。

(1) 既存不適格建築物の耐震改修の一層の促進

(a) 1981年耐震規定改定前のR/C造、S造

(b) 2000年の仕様の明確化以前のW造+(S造の柱脚&溶接、R/C造の継手)

(2) 新たに出現する被害発生の見直しと事前対応

(a) 設備機器類の転倒防止 : 平成24年国交省告示第1447号により改正

(b) 天井(特定天井)の落下防止 : 平成25年国交省告示第771号

(c) エスカレーター等の脱着防止 : 平成25年国交省告示第1046号

(d) 技術展開が進む免震・制振等の新しい技術を採用した建築物に対し、学習効果を反映させて次の地震で生じると考えられる被害発生防止をはかる。

今後やるべきことは何か。やっぱり既存建築物の耐震改修の一層の促進。特に2000年以降の木造。それから、もう1つ、新しく出てくる建築物です。設備は24年に告示が出ています。天井、エスカレーター、それから免制震の構造物、今までなかったものが出てくるではないでしょうか。

国土技術政策総合研究所講演会

熊本地震による建築物の被害から学ぶこと
(3) 建築物被害の低減・軽減に向けて (続)

(3) “余裕”をもった耐震設計の推進

- 今回の強さレベルの地震動に対し、財産保持およびBCP対応をはかる。
 - ← 建築基準法は、最低規定を定めているもので、より高い性能を確保することを規制しているものではない。
 - ← 施主の目的に応じた耐震性能を計画する設計を行う。そのために、必要な情報を収集、理解して適切な助言を施主に与える。

(4) 耐震性の確保/向上をはかる設計・施工技術の底上げ

- 今回地震では、RC造・S造 → 主に、設計；W造 → 主に、施工
 - 例-1：方立壁、そで壁等の損傷 → 非構造部材には応力を負担させず、非構造部材は構造部材に影響を与えない構造計画・構造設計
 - 例-2：部材端部、接合部の損傷 → 適切な構造詳細を具現化
 - 例-3：天井材の落下等の損傷 → 天井支持 Details (金物設計と溶接部設計) の設計対象化 & 溶接施工の確実化の体制構築
 - 例-4：Pilotis 構造に対する設計 → 全体崩壊形でエネルギー消費を確保 & 振動モード規制によるモード優遇の考え方等の理解

Esuimber-S-2016

- 49 -

それから、今回の地震を見ると、やっぱり余裕を持った耐震設計をやるべきではないかと思えます。今までみたいに最低値の0.2とか1.0を満たせばいいということではないという辺りで、施主の目的に応じた耐震設計を計画する。そのためには、今度は設計者が正しい知識を持たなくては行けない。4番目としては設計と施工技術。RCとSに関しては主に設計、木造に関しては施工ではないかと思えます。例としては、先ほど挙げた袖壁の問題、部材端部の問題、天井の問題、それからピロティに関して、なぜピロティが壊れやすいかと、そこはきちんと理解すべきです。

国土技術政策総合研究所講演会
2016年12月8日
於いて：ニッショーホール

過年の地震被害に重ねる
2016年熊本地震による建築物被害

ご清聴
ありがとうございました

久保 哲夫
東京大学・名誉教授

Esuimber-S-2016

- 102 -

やや時間をオーバーしましたが、私の話はこれでおしまいにしたいと思います。どうぞご清聴、ありがとうございました。