

# 1923年 関東地震における建物被害評価に関する研究

名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻  
博士課程前期課程 2年 福和研究室 牧原 慎一郎

## 1 研究の背景と目的

1923年9月1日に発生した関東地震は、有史以来我が国最大の人的・物的被害をもたらした。このような経験を無駄にせず、同じ被害を二度と繰り返さないようにするためには、過去の地震災害から教訓を得て、今後の地震防災に生かさなければならぬ。そのためには、地震被害の評価・考察が必要不可欠となる。

木造やレンガ造建物は特に甚大な被害を受け、レンガ造に関しては耐震性能が劣るという認識が定着して、その後建てられなくなっていった。またこの地震の直前には、海外から鉄骨造や鉄筋コンクリート造といった新しい技術が導入され、これらの建物が被害を受けた初めての巨大地震でもある。すなわち、関東地震は様々な構造の建物が大都市で多くの被害を受けた数少ない地震であり、被害に関する研究の意義は大きい。

近年、被害調査資料などをもとにして、木造建物の被害状況が詳細に検討されているが、非木造建物の被害は木造ほど明らかにされているとは言い難い。そこで本研究では、鉄筋コンクリート造およびレンガ造建物の被害について、複数の資料を用いて比較・考察する。また、いくつかの個別建物の詳細な被害について、社史などを活用しながら明らかにする。さらに、震災当時の旧東京市内にあたる53地点において常時微動計測を行い、近傍地点のボーリングデータを用いて、地盤条件と建物被害との関係について考察する。

## 2 被害調査資料の内容

関東地震による被害は、今村明恒らによりまとめられた『震災予防調査会報告100号』（以下、文献1）に詳しい。本論ではこれに加え、新たな調査資料として、当時の大手建設会社 清水組による『大正十二年九月一日 関東地方大震災による建物の被害調査』（以下、文献2）を活用する。ここには、清水組が建設に携わった一部の建物の被害調査が記されている。

文献2の目次を表1に示す。第一編では各建物の被害が記載されている。第一章では、190棟の建物を鉄骨造・鉄筋コンクリート造・煉瓦造・木骨造・日本家の五部分に分け、階数、建坪、位置とともに、震災による被害、火災による被害、修繕の程度を、3段階の記号で分類している。第二章から第四章にかけては、そのうちの49棟の建物（構造では鉄骨造・鉄筋コンクリート造・煉瓦造）について、各部材のより詳細な被害や設計概要、周囲の状況などを加えている。第二編、第三編では、清水組の構造技術者らにより地震と火災による被害が「研究」という形でまとめられている。第四編、第五編は「作製中」となっており記載がない。第六編は付録となっている。

文献1と文献2を比較すると、調査された建物の棟数

表1 『大正十二年九月一日 関東地方大震災による建物の被害調査』目次

第一編 設計部設計の地震及び火災による被害の調査
第一章 設計部設計建物の被害総覧
第二章 鉄骨造建物の被害の調査
第三章 鉄筋コンクリート造建物の被害の調査
第四章 煉瓦造建物の被害の調査
第二編 地震による建物の被害の研究
第一章 地質及び地勢と建物の被害との関係
第二章 基礎と建物の被害との関係
第三章 建物の形態と被害との関係
第四章 架構建築の構造別による被害の比較
第五章 鉄骨造建物の被害
第六章 鉄筋コンクリート造建物の被害
第七章 煉瓦造建物の被害
第八章 木造建物の被害
第九章 昇降機の被害
第一〇章 防火扉類の被害
第三編 火災による建物の被害の研究
第一章 建物の防火設備と引火原因の実例
第二章 建物の引火原因について
第三章 鉄骨造及び鉄筋コンクリート造建物の被害
第四章 昇降機の被害
第五章 防火扉の被害
第四編 設計部設計以外の建物の調査による災害研究補遺(作製中)
第五編 建物の耐震耐火に関し設計者及び現場監督者の心得べき要項(作製中)
第六編 付録
第一章 地震について
第二章 東京の地質
第三章 建築諸材料の溶融点及び耐火強度

表2 文献2の被害調査項目

設計概要	・建物名・構造種別・位置・地質・周囲の状況・竣工・用途 ・建坪・階数・軒高・基礎・外壁・帳壁・仕上・間壁・床 ・屋根・天井・階段・防火設備
使用材料	・鉄骨・鉄筋・コンクリート・セメント・砂利
震災に依る被害	・概況・基礎・外壁・間壁・床・屋根・天井・階段・造作類 ・防火扉類・昇降機
火災に依る被害	・概況・基礎・外壁・間壁・床・屋根・天井・階段・造作類 ・防火扉類・昇降機

表3 建物被災度評価の基準

(a) 鉄筋コンクリート造

被災度	キーワード
被害なし	「被害ヲ認メズ」、「震害ヲ認メズ」、「震害ナシ」、「被害極メテ軽微」
小破・被害軽微	「(軽微ナル)亀裂」、「小破損」、「被害軽微」、「震害軽微」、「数多ノ亀裂」
大破	「大(ナル)亀裂」、「大破スル」、「数多ノ亀裂」、「甚シキ亀裂」、「傾斜」、「基礎(不同)沈下」、「フェール」、「クラッシュ」
全・半潰	「全潰」、「崩壊」、「半潰」、「部分倒潰」、「一部崩壊」、「辛ジテ全潰ヲ免ル」

(b) レンガ造

被災度	評価基準
被害なし	被害のないもの
小破・被害軽微	小さなひび割れ／被害がほとんどないもの
大破	大きなひび割れ／局部的せん断破壊／水平耐力を損なったもの
全・半潰	建物の全体または一部が崩壊／鉛直耐力を損なったもの

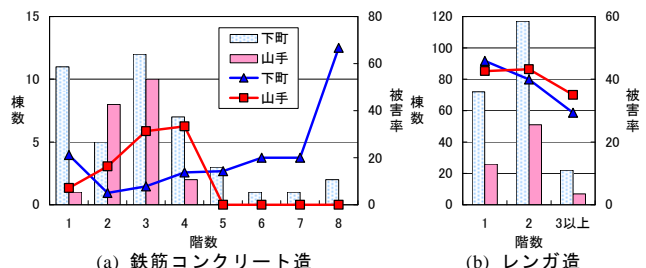


図1 下町・山手の被害

は文献1の方がはるかに多い。しかし被害に関する記述は、文献2の方がかなり詳細に記されている(表2)。両資料では共通の建物も調査されており、データの相互補完が可能である。一方、文献1には多くの被害写真が掲載されており、被害をより詳細に評価することができる。さらに、資料間の被害報告の差異も考察が可能である。

### 3 建物の被害傾向

#### 3.1 被害程度の評価

関東地震における、鉄筋コンクリート造とレンガ造の建物被害の全体像を把握するために、文献1に掲載されている建物を用いて被害の評価を行った。被害程度の種類は、鉄筋コンクリート造は表3(a)のキーワードをもとに、レンガ造は表3(b)の基準により、それぞれ、被害なし/小破・被害軽微/大破/全・半潰の4段階に分類した。分類が困難な場合は、既往の文献に習って、記述のニュアンスの考慮や、被害写真の参照などにより被害程度を決定した。全建物数は、鉄筋コンクリート造が547棟、レンガ造が763棟である。

#### 3.2 下町と山手における被害の違い

大破、全・半潰の建物の棟数と割合(被害率)を、下町と山手とに分類し、それぞれ棒グラフと折れ線グラフに示す(図1)。鉄筋コンクリート造では、2階から4階の建物で被害率が山手の方が大きくなっている。建物棟

数で大きな差はないことから、この階数の建物は山手の方が大きな被害を受けたといえる。高層の建物は、建物棟数が少ないため、統計から被害の傾向を推測するのは難しいが、山手に比べ下町の方が大きな被害率を示した。

大崎らの研究では、2階以下の低層建物と3階以上の中層建物に分けて被害の差が考察されている。その結果、一部を除くと沖積層が厚い地域で低層建物の被害率が大きく、地盤が次第に硬くなると中層建物の被害率が大きくなるとし、木造や土蔵の被害の傾向と逆になるとしている。図1の結果は、これに相反するものであるが、地盤の軟らかい場所の多い下町と、固い場所の多い山手とを比較したときに、前者で階数の高い建物に、後者で階数の低い建物に被害が多いのは、建物と地盤の固有周期の観点から判断すると、妥当な結果といえる。

レンガ造では、2,3階の建物で山手の被害率が下町を上回っている。低層の建物でこの傾向が出るのは鉄筋コンクリート造の場合と同じである。また、特に下町において、階数が高くなるにつれて被害率が減少しているが、これは後に述べる建物用途による影響が大きいと考えられる。下町と山手とを比較しても、全体的な被害の傾向に大差はない。

#### 3.3 木造被害との比較

「下町と山手」という、大まかな分け方による被害評

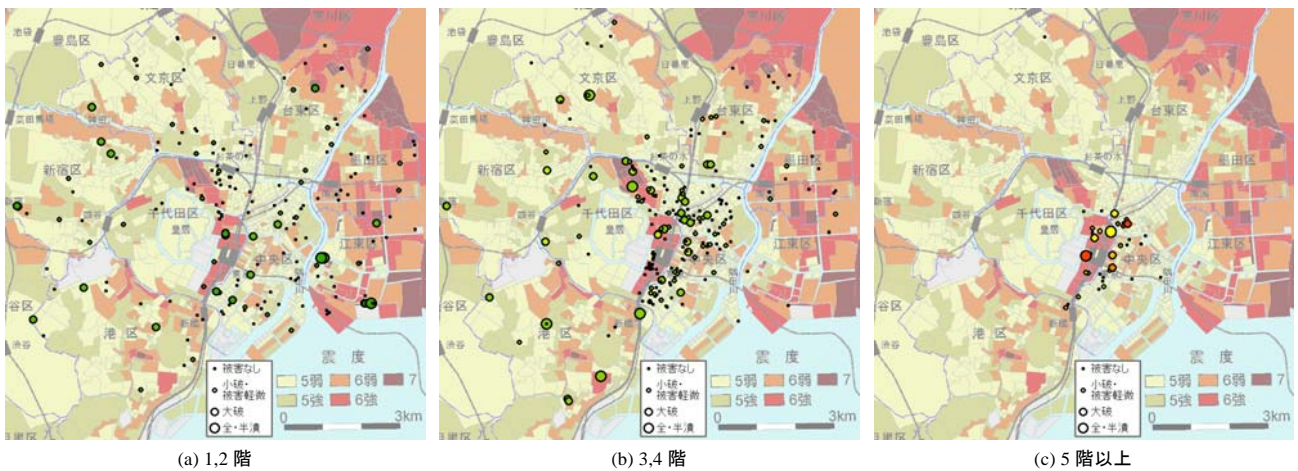


図2 鉄筋コンクリート造建物の階数別の被害分布

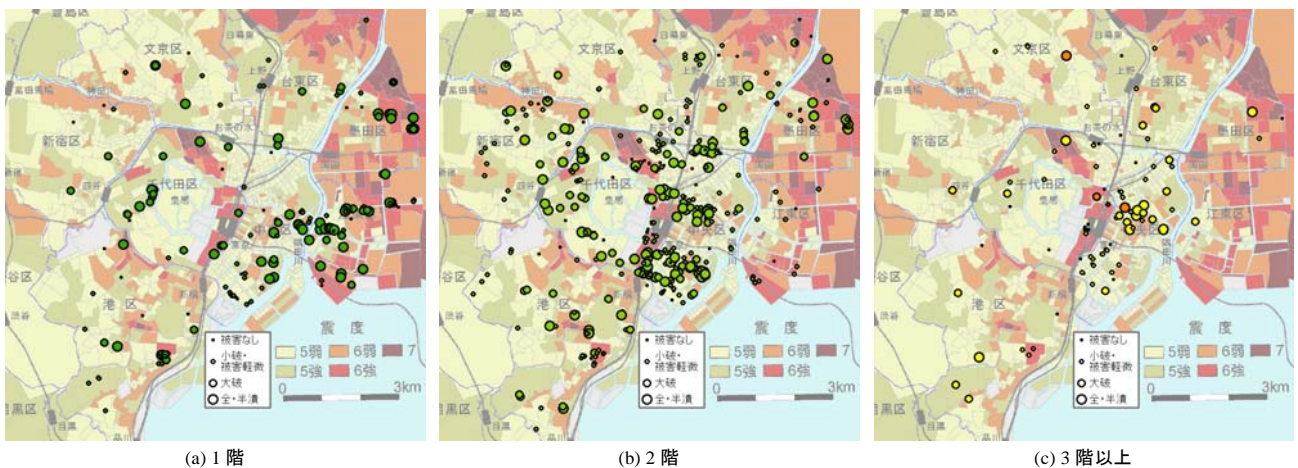


図3 レンガ造建物の階数別の被害分布

価には限界がある。そこで、木造建物の全潰率をもとにした震度分布により、木造と鉄筋コンクリート造およびレンガ造建物の被害傾向がどのように違うのか考察した。

図2に1,2階、3,4階、5階以上の鉄筋コンクリート造建物の被害分布を示す。1,2階については、被害の有無に関わらず建物が広範囲に分布しているが、3,4階では、1,2階に比べ、市街地を中心にやや狭い範囲に建物が分布しており、皇居より西側に大きな被害があった建物が点在している。5階以上になると東京駅周辺に建物が密集し、他の地域にはほとんど建てられていない。一方、台東区北部や隅田川以東など、木造の被害が大きかった地域では、鉄筋コンクリート造の大きな被害は見られない。これらの地域にある101棟の建物のうち、大破以上の建物は僅か8棟であった。全体の被害率が13.4%であることを考慮すると、この地域の鉄筋コンクリート建物の被害は他地域に比べ相対的に小さかったといえる。

図3に1階、2階、3階以上のレンガ造建物の被害分布を示す。3階以上になると建物棟数は減るものの、階数に関わらず広範囲に建物が分布している。被害を見ると、1階では、東京駅から東へ2,3km離れた、隅田川を挟む地域に集中している。また2階では、銀座周辺で大きな被害が出ている。日本橋から江戸橋周辺にかけての地域は3階以上の建物でも被害が大きい。

以上から、鉄筋コンクリート造やレンガ造建物にとって被害が大きくなる地域と、木造建物にとってのそれには違いがあるといえる。これは、建物と地盤との固有周期の違いや動的相互作用効果によるものと推察される。建物自身の強度の影響も考えられるが、木造の筋交の量や鉄筋コンクリート造の壁量、あるいはレンガやモルタルなどの材料の質や、鉄筋などを用いた十分な補強がなされていたかどうかについてはなどは、統計資料からは判断できない。そのため個別の建物での検討が必要になる。

### 3.4 建物用途別の被害

建物用途による被害を考察するために、工場、倉庫、事務所、住宅・商店、公共・その他の5つのグループに分けて分析する。用途・階数別の建物棟数と大破以上の

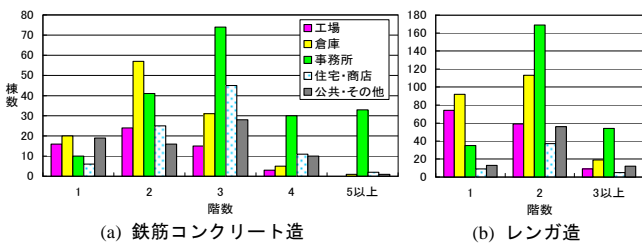


図4 用途・階数別の建物棟数

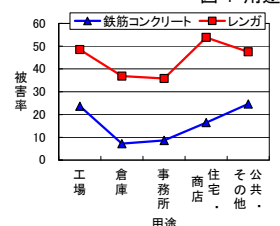


図5 用途別の大破以上の被害率

被害率を図4および図5に示す。

鉄筋コンクリート造は、階数別で工場と倉庫が2階、他は3階の建物数が最も多い。大破以上の被害率を見ると、倉庫と事務所が他に比べて低くなっている。工場と倉庫に被害の差が出たのは、規模が異なるため開口の大きさや壁量に違いが生じたことが考えられる。事務所や住宅・商店は、工場などに比べ開口が少なく、また空間が細かく仕切られるため壁量は多くなる。事務所と住宅・商店との被害率の差は、建物の所有者が会社などの団体であるか個人であるかによって、建物の建設資金の違いがあり、材料や施工精度に差が生じた可能性がある。

一方、レンガ造は、工場だけが1階で、他は2階の棟数が最も多い。用途別の被害率には、鉄筋コンクリートと同様な傾向が表れている。住宅・商店の被害率が53.8%と最も高く、工場がこれに次ぐ。事務所の被害率は最も低い35.8%となっており、住宅・商店とは約20%の差がある。図1(b)で、3階以上の建物の被害率が最も低くなっているのは、被害率の低い事務所がその多くを占めているためと考えられる。

本所区と深川区のみで建物用途別に集計すると、工場や倉庫が非常に多く、ともに全地域での被害率よりも高い値になった。同じ用途の建物が、密集して大きな被害を受けているのは、3.3で指摘したような、建物と地盤の固有周期の影響によるものではなく、建物の施工精度や使用材料など、建物自身の強度が原因と考えられる。

結果として、構造に関わらず階数により被害に差が生じたのは、用途によって特定の階数の建物が多く存在し、それらの被害率に大きな差があったことが理由と言える。

### 4 清水組による個別建物の被害

ほぼ同時期に、同じ場所に建てられ、被害に大きな違いがあった2つの鉄筋コンクリート造建物(博文館印刷工場・精美堂印刷工場)とレンガ造建物(博文館工場)の被害について述べる。建物の概要を表4に示す。

『共同印刷90年史』によると、博文館工場(レンガ造)は大正4年に建てられた工場の一部で、地積8,265坪、建坪4,500坪、棟数54棟、すべて鉄骨レンガ造で、屋根は鉄筋コンクリート、窓ガラスは舶来のワイヤガラスを使用し、防災に配慮した施工であった、と記されている。また、レンガ造建物では活版平台印刷工場の一部が倒壊したものの、全体としての被害は博文館、精美堂ともに比較的少なく、工場の大部分は災害を免れたとある。被害調査資料を比較してみると、住所と竣工年に食い違いがある。また、震災による被害も、文献2では「構

表4 博文館印刷工場、精美堂印刷工場、博文館工場の建物概要

建物名	博文館印刷工場		精美堂印刷工場		博文館工場	
	清水組	震災予防調査会、土木学会	清水組	震災予防調査会、土木学会	清水組	震災予防調査会、土木学会
構造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造	レンガ造	レンガ造
住所	小石川区久堅町	小石川区久堅町百八番地	小石川区久堅町	小石川区久堅町百八/百九番地	小石川区久堅町	小石川区指ヶ谷町
竣工年月	大正11年10月	—	大正11年10月	—	大正4年10月	大正6年
建坪	288	288	292	292	709	—
階数	3	3	3	3	1	1
被害程度	全・半潰	全・半潰	小破・被害軽微	小破・被害軽微	小破・被害軽微	全・半潰

造体に僅少の被害を受けたり」となっているのに対して、文献1では「東北両壁体はいずれも南方に倒潰」とあるなど、大きな被害が出たと評価している。つまり、現地での調査はそれぞれごく一部の建物に対してのみ行われたものと考えられ、倒潰した工場の調査を行ったか否かにより、被害評価に違いが生じた可能性がある。

一方、鉄筋コンクリート造は、博文館、精美堂ともに、震災から約1年前に建てられた3階建の建物である。しかし、博文館は地震により全潰したのに対して、精美堂は構造体の一部に亀裂が生じた程度で軽微な被害にとどまっている。構造、規模、場所、用途、竣工時期など、同条件の項目が多いが、帳壁構造、鉄筋の種類などに違いが見られる。文献2によると、博文館で使用されたカーンバーと呼ばれる鉄筋が当時非常に不評であったこと、室内に「予定荷重以上の活字を二階に貯蔵」していたことが指摘されている。一方、精美堂の被害が小さかった理由として、文献1では「主として建物の3階の大部分が木造であること」といった重量の差などを挙げている。これらの記述から、複数の要因により両建物の被害に差が出たと考えられる。

## 5 微動・ボーリングデータと建物被害の関係

建物の被害には、建物と地盤の固有周期の関係が影響していると考えられる。そこで旧東京市内の53地点を対象に常時微動計測を行った。各地点の位置とそれぞれのH/Vスペクトルを図6に示す。これと、背景の地質図、ボーリングデータから得られた沖積層厚および表層地盤のN値と建物被害との関係を考察する。

隅田川よりも東側の地点および浜町周辺では0.9~1.2Hz付近に、明石町や台東区北部では、やや高振動数の1.4Hzおよび1.8Hz付近にH/Vスペクトルのピークが見られ、沖積層厚ともよく対応している。これらの地域は表層地盤のN値が小さく、その平均は3.5~6および10前後となっており、また洪積層との境界が明瞭である。木造被害は震度5弱の場所から7の場所まで存在するが、地盤の性質にはそれほど大きな差は見られない。鉄筋コンクリート造の被害は、地点8および地点9付近で1,2階に数棟ある他は目立った被害はない。一方のレンガ造は、1階で広範囲に被害が見られ、また2階以上でも墨田区北部で大きな被害を受けたものが目立つ。この辺りでは、工場や倉庫が他の用途の建物に比べて非常に多く、被害も市内全体と比べて一段と大きい。

日本橋・銀座および神田から丸の内では、隣接した場所で木造の被害に大きな違いがあった。これが表層地盤のN値や沖積層厚さ、H/Vスペクトルの違いにも表れており、木造被害が地盤と大きく関わっていたことがわかる。一方で、鉄筋コンクリート造およびレンガ造建物の被害では、これらの地域で被害の差は見られない。つまりこのあたりの建物は、構造により地盤の影響の受けやすさが異なると考えられる。

山手地区では、以前川が流れていたと思われる谷地と、

洪積台地上の場所とに分けられる。いずれの場所でも、谷地と台地とでH/Vスペクトルのピークに違いが見られた。谷地の中で、川の上流に位置していた北部では、下流に位置していた南部の谷地よりも堆積した粘土層厚が薄いと考えられるため、同じ谷地においても計測結果に違いが表れた。表層のN値は、谷地と台地とで違いがあったところが多かったが、建物の被害は他地域と同様、大きな差は見られなかった。

全体を通して、下町や山手にかかわらず、表層地盤の平均N値と微動計測結果には高い相関関係があることがわかった。また、地盤と建物被害に明確な相関が見られなかったのは、建物強度の不足による被害が多く、地盤による影響よりも建物の特徴に左右されたためと考えられる。

## 6 まとめ

1923年関東地震の被害について、清水組や震災予防調査会などの資料を用い、鉄筋コンクリート造およびレンガ造建物の被害傾向分析を行った。結果として、階数や用途といった建物の特徴によって被害に明確な傾向が見られた。また個別建物の被害について、社史なども参照しながら調査し、被害を受けなかったレンガ造建物が多く存在したことや、ほぼ同一条件の建物に被害の差が出た理由などが明らかになった。さらに常時微動計測から得られたH/Vスペクトル、ボーリングデータ、地質図などと建物被害の関係を考察し、非木造建物の被害と地盤の関係は木造のように明瞭な差が出にくいこと、またその被害が大きかった場所は、木造被害の大きかった場所とは異なることが確認できた。

震災予防調査会による被害調査は、被害の出た建物を中心に行われた可能性が高く、被害の出なかった建物が見落とされていると思われる。そのため、建物の被害を個別に検証することが重要で、本研究で扱った清水組の資料は、建築技術者の視点で詳細な記述がなされているため有効な知見となる。

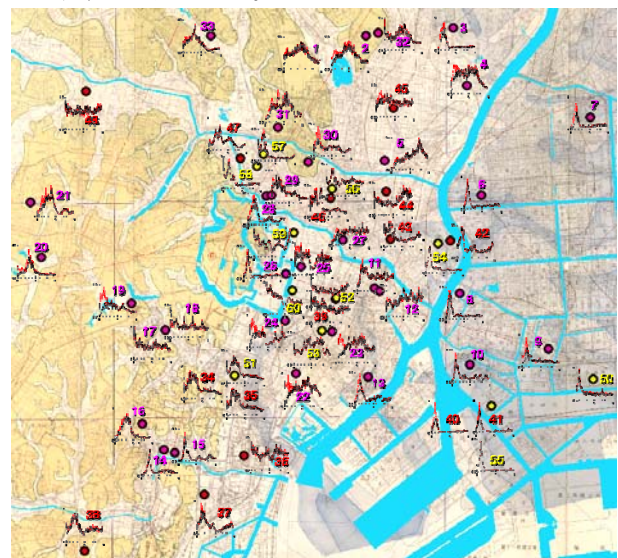


図6 微動計測地点とH/Vスペクトル（背景は地質図）