

1923 年関東地震の被害分析支援用ウェブ GIS の開発

DEVELOPMENT OF WEB-GIS FOR ANALYSIS OF BUILDING DAMAGE IN THE 1923 GREAT KANTO EARTHQUAKE

林 章二 — * 1 牧原慎一郎 — * 2
倉田和己 — * 3 福和伸夫 — * 4
飛田 潤 — * 5

Shoji HAYASHI — * 1 Shinichiro MAKIHARA — * 2
Kazumi KURATA — * 3 Nobuo FUKUWA — * 4
Jun TOBITA — * 5

キーワード:

1923 年関東地震, 被害, RC 造建物, Web-GIS, 調査資料

Keywords:

The 1923 Great Kanto Earthquake, Building damage, Reinforced concrete buildings, Web-GIS, Investigation reports

Web-based geographical information system has been developed for understanding the damage of RC buildings in the Great Kanto Earthquake. Building damage data and analyzed results examined in the two investigation reports about the 1923 Great Kanto Earthquake in the City of Tokyo are included in the system. This system integrates various kinds of data such as damage data examined in old reports, estimated seismic intensity, newly observed micro-tremor data, old maps and digital elevation topographical map. This is useful for engineers to assist estimating the structural performance of historical modern architecture, and for citizen to consider the importance of disaster mitigation countermeasure.

1. はじめに

大地震による甚大な被害が懸念される中、有史以来我が国で最大の犠牲者を出した 1923 年関東地震の教訓を広く市民に伝えることの重要性は極めて高い。本論は、関東地震に関する 2 点の建物被害調査資料、すなわち、清水組設計部による「大正十二年九月一日 関東地方大震災火災による建物の被害調査」¹⁾ (以下、文献 1) と、「震災予防調査会報告 100 号 (丙) 下」²⁾ (以下、文献 2) を中心として、関連する地図・地盤・建物・地震ハザードなどの多岐に渡る情報を容易かつ有効に利用できるような環境を整備したものである。これにより、首都圏に数多く残る歴史的建造物の耐震性能評価・補強設計や将来起こるであろう首都直下地震に対する防災対策の推進などでの利用を図ることを意図している。

1923 年関東地震の被害に関しては、近年多数の論文や出版物が公表されている (たとえば武村^{3) 4)})。建物被害に関しても調査、研究がおこなわれているが、上記の文献 1)・2) をはじめとして関東地震後に実施された調査記録の多くは、調査主体毎での分析評価がなされており、様々なデータを相互に分析することは難しい。また、資料が散在しており、現在では活用しにくい形式で保存されているため、これらの資料が多く研究者・技術者・市民に有効に利用されているとは言い難い。一方で、関東地震後における被害地域、特に東京市域の状況は、当時と大きく様変わりしており、都市域が軟弱地盤や埋立地に広がり、低層木造建物は激減し中高層の不燃建物が林立している。当時と現在との都市の違いを理解しつつ関東地震の被害を分析することで、将来の首都直下地震に対する被害像を正しく認識することができる。

また、近年、地震防災に対する関心は高まっているものの、首都

圏の市民の防災意識は充分に高いとは言えない。関東地震の被害状況を容易に参照できる環境を整備することで、関東地震の被害の解説を通して市民の防災意識の啓発を図ることができる。

一方、最近ウェブ環境を利用した地理情報システムも広く普及し、被害情報や種々の研究資料を、地図情報、地盤情報、強震・微動観測記録などと対比しながら分析することが容易になってきている。そこで、上述の 1923 年関東地震に関する建物被害調査記録における鉄筋コンクリート造と煉瓦造の建物被害に着目し、両資料に掲載されている個別建物の調査記録をデータベース化し、GoogleEarth などのウェブ GIS 上で分析できるシステムを構築した。

本システム上で新たに構築したデータは、両資料の地震被害調査記録およびその分析結果と、建設地の地盤特性との関係を検討する上で実施した常時微動測定結果である。これに加え、既存の地図情報、デジタル標高地形図、関東地震における予想震度分布、地盤調査結果などのデータをウェブ環境で相互運用データとして統合して利用できる環境を整えている。これらのデータ利用に際しては、独自に開発してきたウェブ GIS 上の利用に加え、一般に普及しつつある GoogleEarth でも利用できるようにしている。

このシステムにより、建築構造技術者は、建物の個別被害情報を立地地点の地盤情報、震度情報とともに得ることができ、歴史的建造物の耐震性能評価、耐震補強設計などに活用することができる。現在、耐震性能向上には免震レトロフィットの適用も多くなってきており、その設計に当たって建設地の地盤特性は重要な要素である。また、地震防災の視点からは、将来の首都圏での地震被害予測のための有益な基礎資料となる。一般市民にとっては、当時の被害状況と地図情報をあわせて示すことで、被害を我がこととして認識する

¹⁾ 清水建設(株)技術研究所 主任研究員・工修
(〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)

²⁾ 愛知県庁 修士 (工学)

³⁾ ㈱ファルコン 修士 (工学)

⁴⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

⁵⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・工博

¹⁾ General Manager, Institute of Technology, Shimizu Corporation, M. Eng.

²⁾ Aichi Prefectural Office, M. Eng.

³⁾ Falcon Corporation, M. Eng.

⁴⁾ Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

⁵⁾ Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

表 1 利用データ内容

データの分類	出典	データ項目	データの特徴
被害調査記録	「大正 12 年 9 月 1 日 関東地方大震災による建物被害調査」	・調査建物名称 ・建物所在地 ・階数・建坪 ・構造・用途	清水組による一部の建物の調査 調査建物数は少ないものの、 建物の調査記録は詳細であり技術者の視点で調査がされている 調査時に作成された図面の画像データ
		被害調査写真	調査時に撮影された画像データ
	「震災予防調査会報告 100 号(丙)」	・調査建物名称 ・建物所在地 ・階数・建坪 ・構造・用途	当時の調査記録としては調査建物数をもっとも多く、構造種別毎にまとめられている 調査数が多いこと。 以後の研究の対象資料とされている
		調査建物位置 緯度・経度	被害当時の位置の緯度経度は明確ではないものを、現在の地番として特定し緯度経度を数値として確定した WEB-GIS システムとして地図に建物の位置を表示できる
被害データを分析するために新たに収集したデータ	「1923 年関東地震による東京都中心部(旧 15 区内)の詳細震度分布と表層地盤構造」	震度	調査記録の表現から被災度を設定した 複数の調査記録による被害状況にキーワードに沿った分類に基づき評価を行った
			木造家屋の被害から推定した震度分布
			被害調査建物と比較的分布していた地域で網羅的に測定した
			被害調査建物、常時微動測定データの内、常時微動測定地点近傍データを採用
その他の関連データ	常時微動計測	東京 53 箇所の測定データ 2008 年 7 月、12 月	被害調査建物と比較的分布していた地域で網羅的に測定した
	地盤データ	・(株)東京ソイルリサーチ ・東京都土木技術センタ	東京地域におけるボーリングデータの内、常時微動測定地点近傍データを採用
	地図データ	国土地理院 航空レーザ測量	被害調査建物、常時微動測定データ位置の地図上地形を明確に表示する
	ネットワーク経由で利用する	現状市街図	被害調査建物位置の地図上に表示する
その他の関連データ	「古地図ライブラリー別冊 古地図・現代図で歩く 明治大正東京散歩」 ・「東京商業地図、大正 10 年」 ・「東京市全図、大正 7 年」	空中写真	被害調査建物位置を表示する
			被害調査建物位置の地図上に表示する
			被害調査建物位置の地図上に表示する
			被害調査建物位置の地図上に表示する

ことができる。これらの結果、防災に対する意識を高め地震対策を始めるきっかけとなることを意図している。

2. 活用する情報

提案するシステムで活用可能なデータの種類・内容を整理して表 1 に示す。これらのデータは、被害調査記録に基づいたデータ、地震データを分析するために新たに収集したデータ、その他の関連データなどに区分できる。

2.1 被害調査記録

先に述べたように主に「大正十二年九月一日 関東地方大震災火災による建物の被害調査」(文献 1) および「震災予防調査会報告 100 号(丙)」(文献 2) に基づいて整理・分析を行った。

文献 1 は当時の有力な建設会社である清水組により設計された建物を対象とした調査であり、調査建物数は少ないが被害の状況に関する記述は詳細である。調査建物棟数は 190 棟で、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、煉瓦造、木骨造、日本家に分けて記録されている。

さらに詳細なデータとして、27 件の建物については計 68 枚の図面が、57 件の建物については計 92 枚の調査写真が残されている。文献 2 は、より網羅的に多数の被害建物が記されており、構造種

表 2 調査項目

調査資料名	「大正 12 年 9 月 1 日 関東地方大震災火災による建物被害調査」	「震災予防調査会報告 100 号(丙)下」
調査者	清水組	震災予防調査会
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(尺)・基礎 ・外壁・塙壁・仕上・間壁・床 ・屋根・天井・階段・防火設備 ・その他	
使用材料	・鉄骨・鉄筋・コンクリート ・セメント・砂利・備考	—
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・備考 ・その他	被害の程度
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・備考 ・その他	被害の程度

表 3 被害区分

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」、「被害極メテ輕微」
小破・被害輕微	「(輕微ナル)亀裂」、「小破損」、「被害輕微」、「震害輕微」、「数多ノ小亀裂」
大破	「大(ナル)亀裂」、「大破スル」、「数多ノ亀裂」、「甚シキ亀裂」、「傾斜」、「基礎ノ(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」

別ごとに建物被害を分析している。本報ではこの中で鉄筋コンクリート造と煉瓦造の被害調査報告を対象に、被害記録をデータベース化した。調査建物数は、東京市域、郡部を合わせ、鉄筋コンクリート造は 671 棟、煉瓦造は 6969 棟である。鉄筋コンクリート造建物についての文献 1 と文献 2 の調査記録項目を表 2 に比較して示す。まず最初に、文献 1, 2 に記載されている建物について、建物名、建物所在地、用途、階数、建坪、構造、震災による被害概要などの調査項目(表 2)に従い文献に基づき情報を整理し、ウェブ GIS で利用するための表形式のマスターデータをまとめた。

次に、建物の位置等を GIS 上で扱うために、当時の住所記録から緯度経度に変換した。その際に、当時の地図をスキャン・位置補正して GIS で使用できるようにした。

また、調査記録の中に記述されている被災度の評価が不統一であったため、被害分類のための基準をキーワードにより整理し、各建物の建物被災度を決定した。表 3 に、主な被害区分を示す。被災度統一に際しての評価方法は別の機会に報告する。

2.2 被害データを分析するために新たに収集したデータ

関東地震の建物被害の要因として、地盤条件の相違による地震動強さや周期特性の影響が大きいことはよく知られている(たとえば金井⁵⁾、北澤⁶⁾、河角⁷⁾、大崎⁸⁾など)。そこで、国土地理院が整備したデジタル標高地形図や、木造家屋の被害に基づいて推定された震度分布(武村ら^{3) 4)})、などをウェブ GIS で利用できる環境を整えた。さらに、被害調査対象となった建物の敷地の地盤性状を把握するため、2008 年 7 月および 12 月に旧東京市域の 53 地点において常時微動計測を行い、主に H/V スペクトルに基づいて地盤の卓越振動数を評価した。計測地点は山手、下町地域を網羅するよう選定している。さらに常時微動計測結果の分析のため、各計測地点近傍の地盤データとして、(株)東京ソイルリサーチ、および東京都土木技術

センターにより都内で実施された地盤調査結果を収集し、表層地盤の平均N値、表層地盤厚さ（N値50までの深さ）を算定し、地盤の卓越振動数を求めて実測値と比較できるようにした。

ベースとなる地図は、GoogleMapによる現在の市街地地図を用い、GoogleEarthを背景として利用することで建物位置を特定し易くしている。また、過去の市街地の状況を把握するため、地震以前の明治40年、大正7年、10年に発刊された東京市街地の地図^{9) 10) 11)}もウェブGISで利用できるようにした。これにより、建物位置の地形変化や周辺環境の変化を容易に認識できるようになる。

3. システムの構成

本システムの概要を図1に示す。本システムは、インターネットに接続した状態での利用を前提としており、利用者のPCにはクライアントソフトとしてGoogleEarthがインストールされている必要がある。被害調査記録に関する情報は、地理情報システムのデータ形式として標準的になりつつあるKML形式で整備しており、建物位置

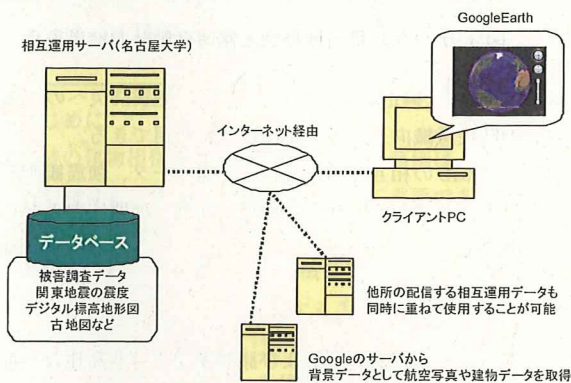


図1 データベース活用システム概要

の緯度経度に加えて、建物名称、被災度、建物階数、建物用途などが属性として付加されている。

システムの利用時には、ネットワークを介して名古屋大学に設置された相互運用GISサーバに接続し、ここに格納されているKMLの他、常時微動計測結果のH/Vスペクトル図や建物画像データを取得して表示する。相互運用GISサーバにはこの他にも、関東地震の震度分布や東京のデジタル標高地形図、東京の複数の古地図、地盤データなどが整備されており、Google Earth上で、被害調査データベースの情報と重ね合わせることで様々な分析が出来る。また、Google Earthで表示可能な相互運用形式のデータであれば、他機関のデータベースであっても、同様にネットワーク経由でデータを取得し重ね合わせる事が可能である。

4. システムの活用による例

ここでは、開発したシステムの実行画面の例を通して、その有効性を示す。図2は本システムの起動時の全体ウインドウを示している。東京市域全体の空中写真を背景として、現在の行政区界、道路、建物、河川などの一般地図情報とともに、被害調査が行われた個別建物の位置がマークによりプロット表示される。背景を、当時の地図と現在の地図に切り替えて表示すれば、当時と現在の都市環境の違いを容易に理解できる。

個別建物を示すマークの色は、その建物の被災度により、被災度1の場合が青、被災度2が緑、被災度3が黄、被災度4が橙、そして被災度5が赤と色分けされて表示される。

マークの中央部には、建物階数を示す記号があり、1～2階の場合は無印、3～4階は「●」、5階以上は「★」を表示している。個別建物のマークをクリックすると、その建物名称が表示され、更に建物の属性情報のデータが別ウインドウに表示される。表示される属性データは、建物番号、名称、当時の行政区名、当時の住所、緯

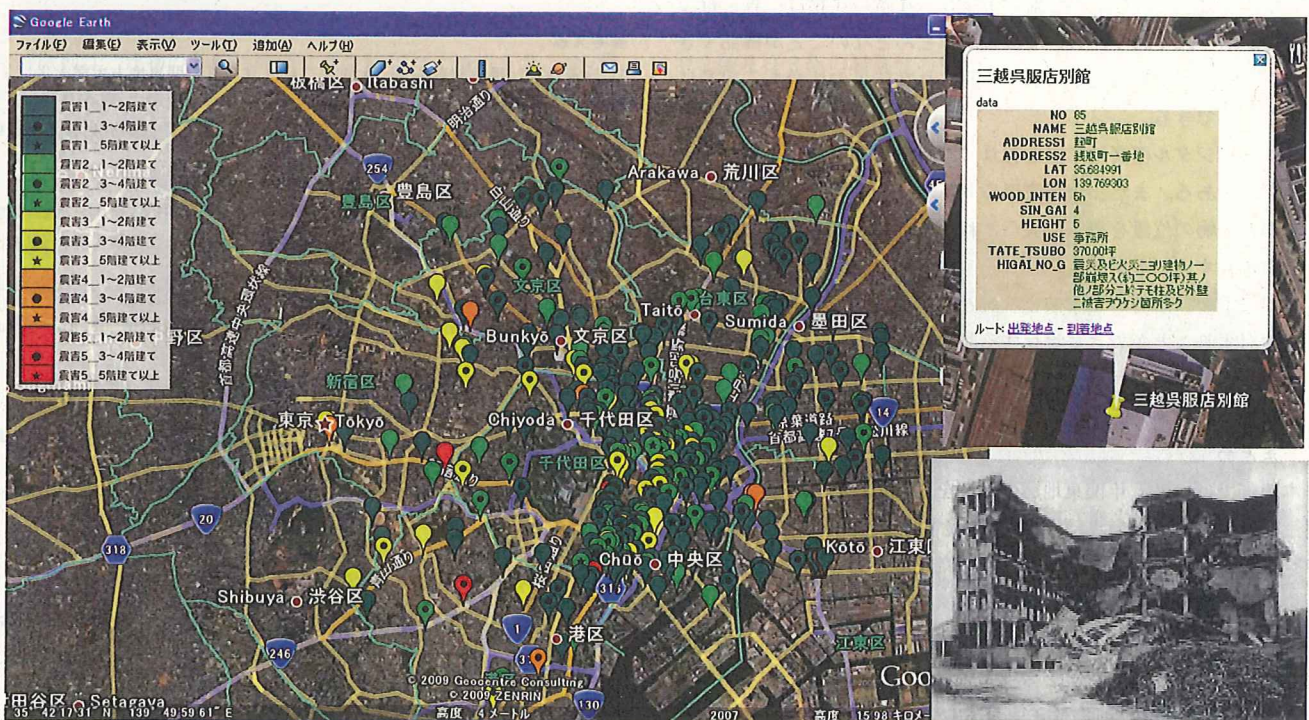


図2 Web-GISによる地震被害データ活用

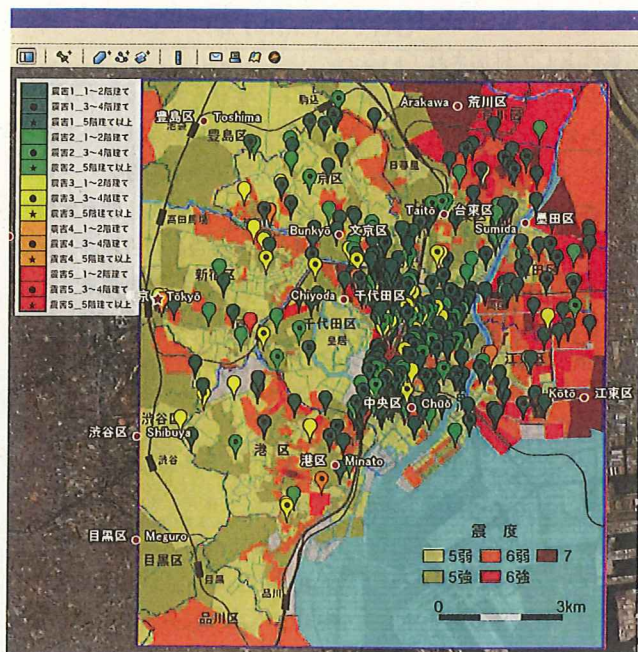


図3 震度分布と調査建物の表示

度経度、立地場所の推定震度、被災度、階数、用途、建坪、および被害の概要である。さらに、建物の外観や調査時の写真がある場合は表示され、技術者だけでなく、一般市民にとっても建物の状況を、より正確に知ることができる。

図3は、武村らによって作成された木造家屋の被害状況を基に推定された震度分布に、鉄筋コンクリート造建物の被害調査のマークが表示されている。図は全体表示から震度分布範囲を切り出して示している。震度は地域毎に色分けされて示されており、個別建物の被災度と震度との対比が容易にできる。例えば、隅田川以東では紫、赤で示される震度6以上の地域が広く分布しているが、一方で、この地域に分布している1～2階および3～4階の建物は、青、緑で被災度が示されており、大きな被害がほとんどないことが確認できる。このように、異なる観点から検討された結果の比較も、容易に行うことができる。

図4はデジタル標高地形図を背景に常時微動測定地点をプロットしたものである。また、観測波形やH/Vスペクトルを表示できる。被害調査建物の位置を重ねて表示すれば、その近傍の常時微動測定結果を確認することができる。

これにより、当時の建物被害状況と地盤特性との関係を容易に対比し検討することができ、現存する歴史的建物の構造安全性の検討にも活用することが可能である。

5. まとめ

本報告では1923年関東地震の教訓を広く市民に伝えることの重要性は極めて高いと考え、関東地震に関する2点の被害調査資料を、有効に利用できるような環境を整備した。被害調査記録およびその分析結果、被害と地盤特性との関係を検討する上で実施した常時微動測定結果、これに加え、関東地震における予測震度分布、地盤調査結果などのデータをウェブ環境で統合して利用できる環境を整えた。データの利用に関しては、一般に普及しつつあるGoogleEarthでも利用できる。統合するに煩雑であった過去の記録も容易に一

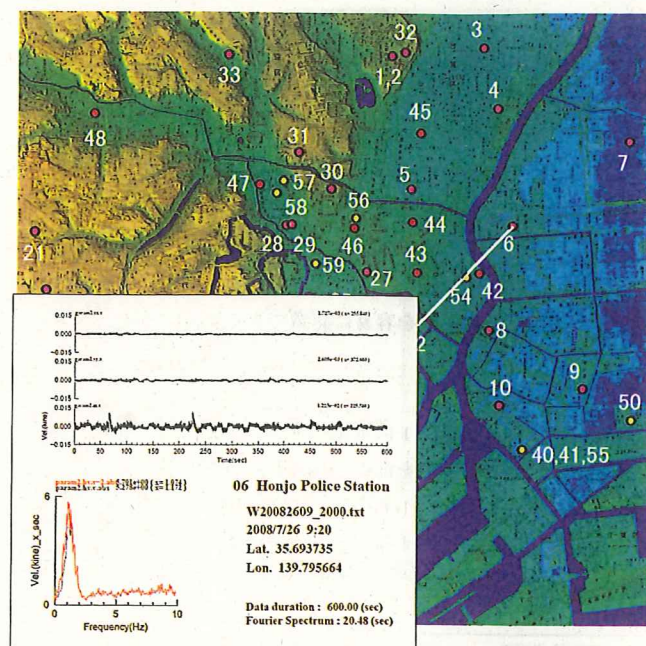


図4 デジタル標高地形図と常時微動計測結果表示

元化できることから、構造設計者だけではなく、地震防災への支援、一般市民への防災意識向上への啓発活動にも利用できる。

今後、ウェブGISの相互運用により、地盤データ、強震観測記録との対応評価も容易になり、様々な利用、連携、展開に大きな可能性があると考えられる。

謝辞

本研究にあたり、武村雅之氏および諸井孝文氏（鹿島建設小堀研究室）、また株式会社東京ソイルリサーチ・福元俊一氏には貴重なデータを提供して頂きました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 合資会社 清水組設計部：大正十二年九月一日 関東地方大震災火災による建物の被害調査，1924. 11
- 2) 永田忠郎：鉄筋コンクリート造被害調査報告，震災予防調査会報告，第100号（丙）下，pp.211-330，1925.
- 3) 武村雅之：関東大震災 大東京圏の揺れを知る，鹿島出版会，2003.
- 4) 武村雅之：1923年関東地震による東京都中心部（旧15区内）の詳細震度分布と表層地盤構造，日本地震工学会論文集，第3巻，第1号，pp.1-36，2003
- 5) Kanai, K. : Relation Between the Earthquake Damage of Non-Wooden Buildings and the Nature of the Ground Bulletin of Earthquake Research Institute, Tokyo University, Vol. 27, 1949.
- 6) 北澤五郎：東京下町の震度分布，地震，地震学会，第3巻第1号，1950
- 7) 河角廣：東京の震害分布と地盤に就いて，建築雑誌，66，pp.8-15，1951
- 8) 大崎順彦・国安圭子：鉄筋コンクリート造建物の震害と地盤，日本建築学会論文報告集，第148号，pp.163-169，1968.
- 9) 近藤和吉：古地図ライブラリー別冊 古地図・現代図で歩く 明治大正東京散歩，人文社，2003
- 10) 細谷松太郎：東京商業地図，大正10年，人文社，1921
- 11) 安藤力之助：東京市全図，大正7年，人文社，1918

[2009年6月19日原稿受理 2009年9月4日採用決定]