

災害からの復興と地域の安全性 — 中国・唐山地震による事例研究 —

1. はじめに
2. 方法のあらまし
3. 被害データの分析（唐山地震）
4. 死者数の推定（復興後）
5. 考察—結論に変えて

塩野 計 司*
太田 裕**

要 約

唐山地震の再来を仮定し、復興後の唐山における死者数を推定した。この結果と、唐山地震での実際の死者数を比較し、災害からの復興にともなう、被災域の安全性の変化について分析した。分析の結果、つぎの点が明らかになった。1) もっとも大きな被害を受けた地域では、安全性が著しく向上したものの、それ以外の地域では、それに比肩しうる安全性の向上はなく、復興後も、大きな被害ポテンシャルを擁することになった。2) もっとも大きな被害を受けた地域での安全性の向上は、鉄筋コンクリート部材を用いて建設された、復旧時の建物の耐震性に起因する。それ以外の地域での安全性の向上を阻害した原因は、被災後にも継続的に使用された、補強要素を持たない組積造建物の脆弱性にある。

1. はじめに

被災をきっかけとして、構造物の強化や土地利用計画の改善が図られ、地域の防災性が向上することがある。

この研究では、そのような事例の一つとして、唐

山地震（1976年、中国）の場合に注目し、被災した地域の安全性が、地震の前後でどのように変化したのかを調べてみた。また、このような分析を進めながら、安全性の向上に寄与した要因を明らかにし、あわせて、復興後に残された地震防災上の問題について考えた。

* 都市研究センター・工学部

** 東京大学地震研究所（都市研究センター非常勤研究員）

この研究の目的は、途上国の地震災害を主な対象として、防災計画の立案に必要な知見と基礎知識を獲得・蓄積することにある。

2. 方法のあらまし

(1) 評価指標

唐山地震の例を見るまでもなく、途上国での地震災害には、死者の大量発生という特徴がある。このことを考慮し、死者数を指標として、地域の安全性を測ることにした。おなじ強さの揺れを受けたとき、死者が多い環境を危険なもの、死者が少ない環境を安全なものと考えた。

(2) 評価手順

地震前の環境に対する安全性(危険性)は、唐山地震のデータ(死者数)によって測ることができる。これに対し、地震後(復興後)の環境に対しては、何らかの方法で死者数を推定し、その結果で評価する必要がある。

地震後の環境での死者数を推定するために、唐山地震の震度分布(楊, 1986)を入力情報として、被害シミュレーションを行った。災害の発生に伴って生じた地域の変容は、住宅の構造形式と人口の変化として表現した。

唐山地震のデータと、地震後の環境に対するシミュレーションの結果を比較することは、2つの供試体を並べて加振するような、振動台試験に見立てることができる。二つの供試体(地震の前後での唐山)に同じ刺激(地震)を与え、それぞれの反応(死者数)の違いから、供試体の特性(防災性)の違いを測定しようと考えた。

なお、このような考え方に基づく被害推定には、当該地域での「つぎの地震」による被害を予測するのは違った意味がある。上述の「振動台実験」に用いた入力地震は、あくまでも仮想の地震であり、現実の地震活動上の特徴を全く反映していない。にもかかわらず、この地震を使って被害を推定すれば、唐山地震の被害との比較で現状を位置づける、という単純な考え方をとりつつ、当該地域の人為環境の安全性を評価する、という目的を十分に果たすことができる。

(3) 対象域

事例分析の対象域として、唐山市と唐山地区(1976年当時)を選んだ(図1)。唐山地区は、唐山市の周辺に位置する14の行政単位、すなわち秦皇島市、12の県(日本の郡にあたる)、1つの農墾区で構成されていた。この地域の面積は16,500km²、人口は700万だった(1975年)。唐山地震による、この地域での死者は20万5千を数え

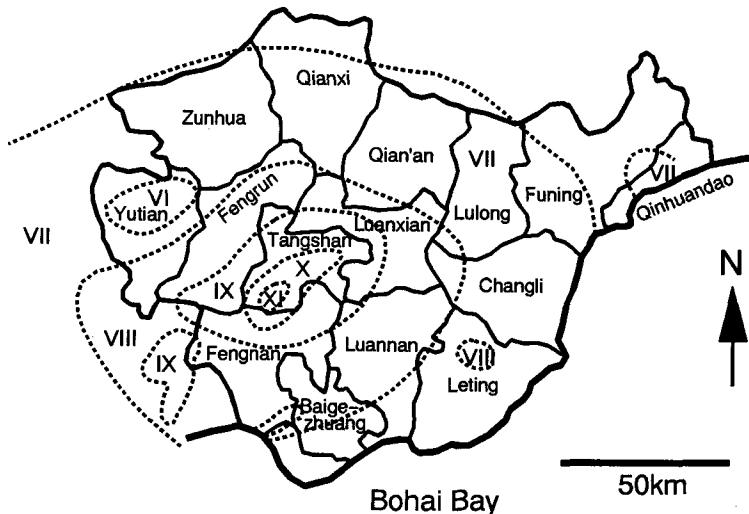


図1 事例研究の対象域 一等震度線は楊(1986)による

た。これは、唐山地震による全死者数の、およそ85%に相当する。

対象域内の15の行政単位のなかで、唐山市がもっとも大きな被害を受けた。唐山地区での被害も大きかったが、唐山市に比べれば軽かった。この研究では、被害の「中心部」と「周辺部」という観点からの比較も取り入れることにし、つぎの2つの地域に分けて被害を分析した：

- 1) 被害の中心部 (唐山市)
- 2) 被害の周辺部 (唐山地区)

3. 被害データの分析 (唐山地震)

(1) 建物倒壊率

唐山地震での建物被害について記した文献(鄒・楊, 1986; 楊・邸, 1986)を収集し、震度と倒壊率の関係(倒壊率関数)を誘導した(図2)。この研究では、「修復できない」被害を「倒壊」と考えた。

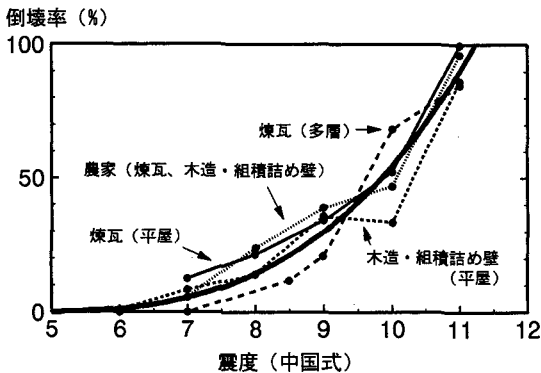


図2 倒壊率関数 (唐山地震)

図2のデータを参考に、倒壊率関数の一般形をつぎのように与えた：

$$C(I) = \frac{100}{(I_{100} - I_0)} \cdot (I - I_0)^n \quad \dots\dots (1)$$

ここに、

C : 倒壊率 (%)

I : 震度 (中国式)

I_0 : $I \leq I_0$ で $C = 0$ を与えるような震度

I_{100} : $I \geq I_{100}$ で $C = 100$ を与えるような震度

n : 震度と倒壊率の非直線的な関係を与える係数。

構造形式ごとの倒壊率曲線(図2)には、あまり大きな違いがないことが分かったので、ただ一つの倒壊率関数で、建物の平均的な強度を表した。この被害率関数(図2の太線)を与える特化係数は、次のように求められた(塩野・太田, 1992)

$$I_0 = 4.29$$

$$I_{100} = 11.23$$

$$n = 3.11。$$

(2) 死者発生率

世界各地の地震災害から収集されたデータ(Coburn et al., 1989)を参考に、死者率関数(建物倒壊率と死者発生率の関係)の一般形をつぎのように与えた：

$$F(C) = F_{100} \cdot C^n \quad \dots\dots (2)$$

ここに、

F : 死者発生率 (%)

C : 建物の倒壊率 (%)

F_{100} : $C = 100$ のときの死者発生率 (%)

n : 建物倒壊率と死者発生率の非直線的な関係を与える係数。

唐山地震による人的被害の記録は、あまり多く公表されていない。そのなかで、表1に示したデータ(王・他, 1986)は、死者発生率の全体的な態様を示したものとして貴重だった。

表1 死者数の分布 (1976年唐山地震)

地域	死者数
唐山市	135,919
唐山地区	69,065
合計	204,984

表1に示した死者数の分布を、もっともよく説明することを条件として、式(2)の特化係数をつぎのように決定した(塩野・太田, 1992):

$$F_{100} = 30.1$$

$$n = 1.78 \quad \dots\dots (3)$$

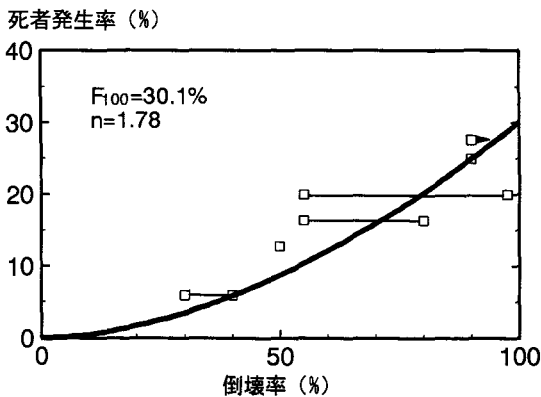


図3 死者率関数

上記の係数をもつ死者関数率を図3に示した。図の中には、他の文献から収集した、いくつかの断片的なデータも記入した。これらのなかには、死者率関数から大きくかけ離れたものは含まれておらず、死者率関数の妥当性を支持している。

4. 死者数の推定 (復興後)

(1) 推定方法

死者数の推定は、つぎのように行った:

$$D = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} [\rho \cdot d_c(f_c(I))] d r \cdot d \theta \quad \dots\dots (4)$$

ここに

D: 死者数

ρ : 人口密度 ($\rho = \rho(r, \theta)$)

d: 死者発生率 (死者数/地域の人口)

f: 建物倒壊率

c: 建物の構造形式を示す添え字

I: 震度 ($I = I(r, \theta)$)

r: 距離

θ : 方位。

この方法では、地域の特徴は人口の分布と建物の構造形式によって、地震の特徴は震度分布によって捉えられる。建物(構造形式)の違いは、建物倒壊率と死者発生率の違いになって、死者数に影響する。

この方法による推定値の精度と信頼性は、べつこの機会(Shiono et al., 1991a, b)に確かめた。

(2) 建物倒壊率

1) 被害の中心部(唐山市)

唐山市では、住宅の形態が著しく変化した。地震の前には、戸建または連棟式の平屋が用いられていた(その大半が地震で失われた)。住宅の復旧には、4~6階建ての集合住宅が用いられた。

集合住宅の構造形式は、図4に示した3種類に大別できる。

補強組積造は、煉瓦壁のなかに、柱状・梁状の鉄筋コンクリート部材を配置した構造である。鉄筋コンクリート部材によって煉瓦壁を拘束(confine)し、構造物の一体性と、それによる強度の向上を図っている。この構造は、confined masonry と呼ばれるものであり、reinforced masonry とは区別できる。後者は、中空部を持ったブロックを、鉄筋とモルタルで連結する工法である。日本で多用されているブロック塀は、補強の水準があまり高くはないが、reinforced masonry に分類できる。混合構造では、外壁には補強組積造(confined masonry)を、内壁には鉄筋コンクリート・パネルを使用する。

国家地震局(State Seismological Bureau, 1992)が提案した被害マトリクスを参考に、集合住宅の耐震性を推定した。被害マトリクスは、つぎの3つの構造形式について示されていた:

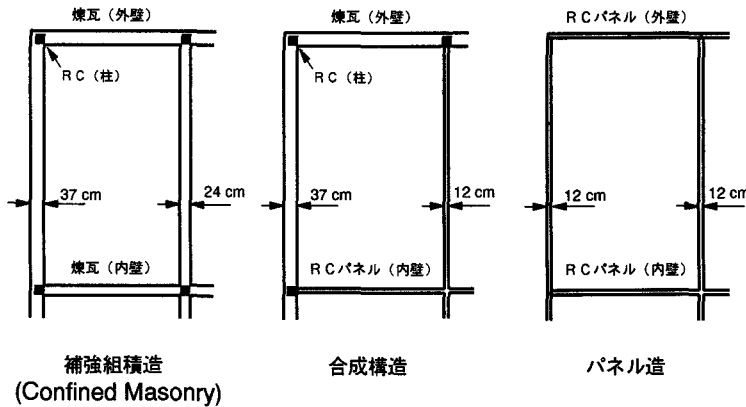


図4 集合住宅の構造形式

- 1) 非補強煉瓦
- 2) 耐震設計をしていない鉄筋コンクリート
- 3) 耐震設計した鉄筋コンクリート。

はじめに、唐山市の集合住宅の構造形式と、国家地震局の分類が、つぎのように対応すると考えた。補強組積 (confined masonry) は、非補強煉瓦と耐震設計をしていない鉄筋コンクリートの中間的な性格をもち、その倒壊率も両者の間にある。混合構造と鉄筋コンクリート・パネルは、それぞれ、耐震設計をしていない鉄筋コンクリートと、耐震設計した鉄筋コンクリートに対応し、国家地震局が示した倒壊率関数をそのまま用いることができる。

つぎに、震度と倒壊率の関係 (国家地震局が示したデータ; 図5にプロット) をもとに、構造形式ごとに倒壊率関数を導いた。倒壊率関数は、式 (1) に示した一般形を持つものとし、図5のプロットへの「曲線のあてはめ」(シプレックス法による) を行って決定した。国家地震局の被害マトリクスには、震度9までの倒壊率だけが与えられていたので、倒壊率関数の一般型 (式 (1)) で外挿し、震度11までの倒壊率を推定した。倒壊率関数の特化係数を表2に示した。

表2 倒壊率関数の特化係数

構造形式	I_0	I_{100}	n
補強組積*	4.1	13.7	3.63
混合構造	4.1	15.7	3.63
RCパネル	4.1	34.6	3.63

* : confined masonry

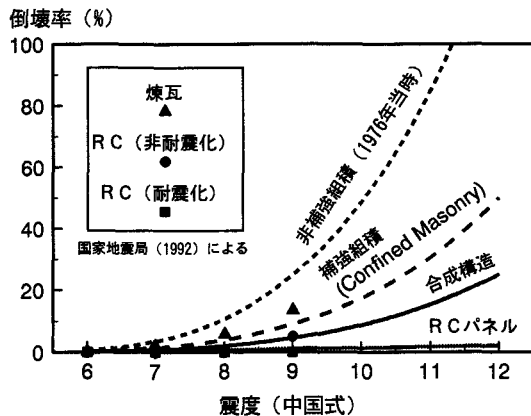


図5 集合住宅の倒壊率関数

なお、倒壊率関数を求める実際の手順は、補強組積、混合構造、鉄筋コンクリート・パネルの倒壊率をおなじ震度での非補強組積の倒壊率の2/3, 1/3, 1/100で与え、これに対して回帰曲線を求める、というものだった。この方法は、国家地震局が示した、少ないデータを利用するために、止むを得ず用いたものであるが、結果的には、ほぼ妥当と思われる回帰曲線が得られた。

住宅の棟数を構造形式べつに知るために、簡単な現地調査を行った。この調査は、構造形式べつに居住者数を把握し、それぞれに死者数を推定するために必要だった(式(3)を参照)。

現地調査は1991年7月に、21ヶ所の住宅地で行い、集合住宅の構造形式(外壁および内壁の材料)を判定した。この調査についての詳しい説明を付録に示した。

調査の結果を表3に示した。また、この調査によって、集合住宅の大きさ(1棟あたりの住居者数)が、構造形式の違いによらずほぼ一定であり、したがって、構造形式べつの棟数の割合から、それぞれの居住者数の割合が推定できることも確かめた。

表3 集合住宅の構造形式とその割合

構造形式	棟数の割合
補強組積 (Confined Masonry)	25%
混合構造	50%
RCパネル	25%

2) 被害の周辺部(唐山地区)

唐山地区の住宅は、非補強組積造の平屋(戸建または連棟式)によって再建された。また、近年の住宅建設にも、同様な建物が用いられている。

国家地震局が示した被害マトリクスによれば、近年の非補強組積造建物の強度は、唐山地震のころよりも相当に向上している。材料の質の向上や、工法の改善による効果だと考えられる。また、圈梁(lintel)や鉄筋コンクリート製の細い柱など、構造物の一体性を強化するための部材の効果も含

めて評価しているように思われる。図6には、唐山地震の当時と、現在の非補強組積造に対する倒壊率関数を示した。

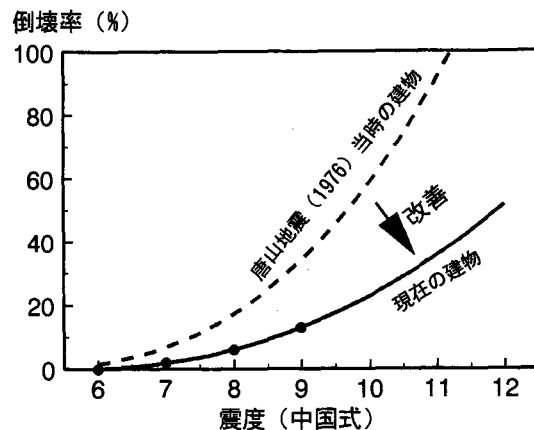


図6 非補強組積造建物の倒壊率関数

死者数の推定には、新しい建物の倒壊率関数を用いた。このような取り扱い、死者数を小さめに評価する可能性がある。唐山地区には、古い建物も相当に残っており、その影響によって、倒壊率が高まると推測されるためである。

なお、唐山地震のさいに倒壊をまぬがれた建物は、唐山地震の再来でも倒壊しない、と考えることもできる。しかし、倒壊をまぬがれた建物は、唐山地震による被害(倒壊には到らない程度の)が「蓄積」されていること、地震以後の経年的な劣化が見込まれることなど、構造的にみて、さまざまな不利な要因を抱えている。唐山地震で倒壊しなかった建物が、唐山地震の再来にも耐える強度を持っている、と単純に考えることはできない。

(3) 死者発生率

死者率関数には、唐山市と唐山地区の違いによらず、唐山地震のデータから導いた結果を用いた。これは、式(2)の一般形に、式(3)に示した2つの特化係数($F_{100} = 30.1$, $n = 1.78$)を与えたものである。

この死者率関数は、非補強組積造の倒壊による死者のデータをもとに導いたものであり、この点を考慮すると、現在の唐山市での死者を多めに推

定することが予想される。倒壊した建物に閉じ込められた被害者の生存時間は、組積造の場合よりも、鉄筋コンクリート造の方が長く、生存救出の可能性も高まるためである。このような効果は、鉄筋コンクリート製の大きな部材（パネル、柱、梁など）が、倒壊した建物の内部に安全な空隙を形成する効果として説明されている（Sakai, 1991）。

（4）死者数

以上のように求めた倒壊率関数（一般形は式（1）、特化係数は表3）と死者率関数（一般形は式（2）、特化係数は式（3））、および唐山地震の震度分布を式（4）に代入し、死者数を推定した。計算は、1辺が5kmのメッシュ（正方形）を単位として行った。結果を表4に示した。

表4 死者数の予測値（唐山地震のデータとの比較）

	死者数（カッコ内は死者発生率）	
	唐山地震[データ]	復興後[推定値]
唐山市	136,000(11.4%)	8,000(0.5%)
唐山地区	69,000(1.1%)	21,000(0.3%)
合計	205,000(2.8%)	29,000(0.4%)

5. 考察—結論にかえて

唐山地震で、被害の中心になった唐山市では、復興後、地域の安全性が大きく向上した。復興した唐山市を、唐山地震の再来がおそったと仮定したときの死者数は、唐山地震での死者数の十数分の1にも満たないことが推定された。この推定に使った死者率関数には大きめの値を与えている可能性があり、この点を考えると、死者数はさらに減少する。

これに対し、被害の周辺部（唐山地区）での安全性は、ある程度は向上したものの、中心部（唐山市）での水準には及んでいない。復興後の状況に対する死者数は2万人と推定されており、唐山地震

での死者数（7万人）とオーダー的には変わりが無い。この推定では、建物の倒壊率が低めに与えられていることを考えると、死者数の推定値も小さめになっている可能性が高い。

被害の中心部と周辺部を合わせた死者数の推定値は、復興後の状況でも、万のオーダーにとどまった。これは、近年の主要な地震災害での死者数：1975年ミチョアカン地震（メキシコ）での1万人、1988年スピタク地震（アルメニア）での2万5千人、1990年マンジール（イラン）での3万5千人と肩を並べる数字である（図7）。唐山地震の被災域（唐山市、唐山地区）は、いまなお「第一級」の災害を発生させる素地を残している。

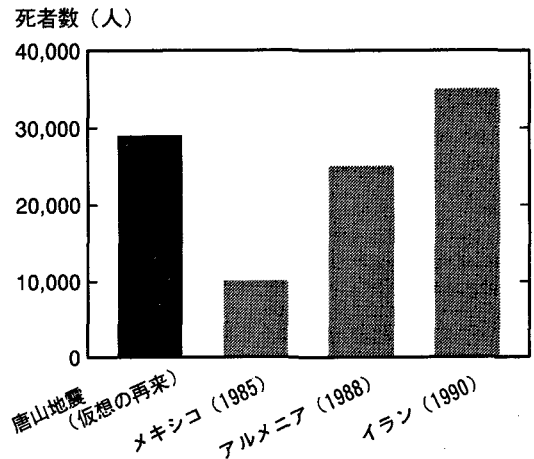


図7 近年の主要な地震災害による死者数の比較

地域安全計画（防災のための地域計画）という観点から唐山の復興事例をみると、地域の安全化は、点（すなわち、唐山市という1つの行政単位）では達成されたものの、面（すなわち、唐山地区の14の行政単位）にまで及んでいないことが分かった。被害の中心部での目覚ましい改善にくらべ、被害の周辺部、ひいては被害の中心部と周辺部を合わせた被災域全体での改善は、はるかに低いレベルに止まった。この発見は、地域の防災化という課題にとって、対象となる地域の大きさが、重大な検討事項であることを示している。

なお唐山市には、被害の中心部としての位置づけのほかに、唐山地区の中心都市としての位置づけもできる。このような枠組みのもとで、復興状

況のちがいを分析することも興味ぶかいく、今後の課題の一つとして取り上げていきたい。

死者の発生を、建物の構造形式との関連で考えると、非補強組積造の脆弱性、さらにはその倒壊に起因する死者の誘発性を問題にすべきことが指摘できる。この研究でも、非補強組積造による住宅の採用が、唐山地区での安全性の向上を阻害する要因になっていることが明らかになった。材料や工法の改善により、非補強組積造の強度が向上してはいるものの、そのような改善が限度に達していることも事実であろう。非補強組積造という構造形式が、鉄筋コンクリートの柱、梁、壁などもつ、耐震的な構造形式に比べ格段に、しかも本質的に弱いことに問題がある。

謝 辞 中国での資料収集と現地調査は、北海道大学の村上ひとみさん・岡田成幸さんと協力して行った。記して、感謝する。

文 献 一 覧

- 楊 理華 (Yang, L.)
1986 「唐山地震烈度分布」『唐山大地震震害』地震出版社, 中国・北京, Vol. 1, pp. 124-131.(中国語)
- 鄒 天柱・楊 玉成 (Wu, T. and Y. Yang)
1986 「多層磚房的震害統計」『唐山大地震震害』地震出版社, 中国・北京, Vol. 2, pp. 6-18.(中国語)
- 楊 徳栄・鄒 海峰 (Yang, D. and H. Di)
1986 「唐山地区城郷平房震害」『唐山大地震震害』地震出版社, 中国・北京, Vol. 2, pp. 186-200.(中国語)
- 塩野計司・太田 裕
1992 「地震時人的被害のマクロ過程モデル-1976年中国・唐山地震での事例研究-」『総合都市研究』東京都立大学・都市研究センター, No. 47, pp. 143-155.
- Coburn, A. W., A. Pomonis, and S. Sakai
1989 Assessing strategies to reduce fatalities in earthquakes, Proceedings of International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, July 10-12, 1989, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, U. S. A., pp. P107-P132.
- 王 子平・他 (Wang, Z. et al.)
1986 『瞬間与十年—唐山地震始末』地震出版社, 中国・北京, 263 pp. (中国語)
- Shiono, K., F. Kringgold, and Y. Ohta
1991a Post-event rapid estimation of earthquake fatalities for the management of rescue activity, Comprehensive Urban Studies, Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University, No. 44, pp. 61-106.
- 1991b A method for the estimation of earthquake fatalities and its applicability to the global macrozonation of human casualty risk, Proceedings of Fourth International Conference on Seismic Zonation, August 25-29, 1991, Stanford, California, U.S.A., Vol. III, pp. 227-284.
- State Seismological Bureau (Research Group of Estimating losses from Future Earthquakes, Department of Seismic Hazard Prevention)
1992 Estimating Losses from Earthquakes in China in the Forthcoming 50 Years, Seismological Press, Beijing, China, 60 pp. with 3 foldout maps.
- Sakai, S.
1991 Survival modeling of victims trapped in collapsed buildings in earthquakes, Journal of Natural Disaster Science, 13, No. 2. pp. 69-95.

付 録 唐山市の集合住宅 — 構造形式べつにみた棟数の割合

唐山市の集合住宅に用いられている構造形式は、つぎの3種類に大別できる(本文の図4を参照):

- 1) 補強組積造 (confined masonry)
- 2) 混合構造
- 3) 鉄筋コンクリート・パネル造。

死者数を推定する過程で、「どのような建物に、何人の人が住んでいるか」を知る必要が生じた。しかし、構造形式べつ棟数を記載した資料は入手できなかった。

筆者らは、詳しいデータを入手することを断念し、それに代わる方法として、構造形式べつの「棟数の割合」を知るためのサンプリング調査を行った。集合住宅の収容者数が、その構造形式によらず一定であることを仮定し、構造形式べつの収容者数を、構造形式べつの棟数の割合から推定することを考えた。なお、集合住宅の大きさ（収容者数）が、その構造種別によらず、ほぼ一定であることは、現地調査によって確かめられた。

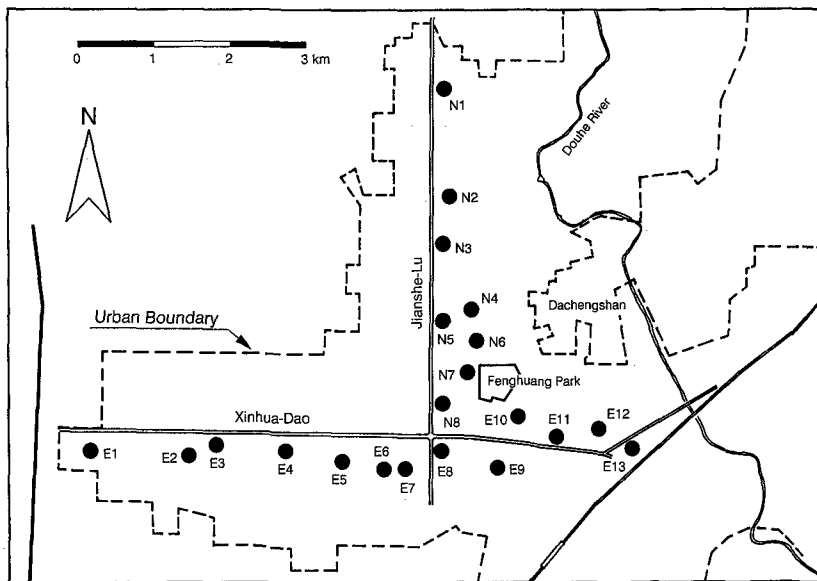
調査は、1991年7月26～27日に行った。これは地震の発生から15年目にあたり、災害からの復旧・復興による急激な変化は、すでに収束していた。

市内の住宅地のなかから21カ所を選び、集合住宅の構造形式を調査した。市内の道路網は、東西に伸びる新華道 (Xinhua Dao) と、南北に伸びる建設路 (Jianshe Lu) を中心に構成されている。新華道と建設路に沿って、調査を進めた (図A)。

新華道では、道路の南側に建設された、すべての住宅地を調査した。ただし、道路の南側に住宅地がない部分 (E9とE13の間) では、道路の北側で調査を続けた。新華道に沿って調査した住宅地の数は13カ所だった。建設路では、道路の東側に建設された、すべての住宅地 (8カ所) を調査した。

構造形式の識別は、建物の内外からの観察によって行った。組積 (煉瓦) 壁と鉄筋コンクリート壁の違いは、窓やドアの取付部を観察し、壁の厚さに注目して判断した。

調査の結果を表A1と表A2に示した。



図A 調査地点 (唐山市)

表 A1 集合住宅の構造形式

調査地点	構造形式
新華道	
E 1	補強組積造
E 2	混合構造
E 3	混合構造
E 4	RCパネル造
E 5	補強組積造、RCパネル造
E 6	RCパネル造
E 7	補強組積造
E 8	RCパネル造
E 9	補強組積造
E 1 0	混合構造
E 1 1	混合構造
E 1 2	混合構造
E 1 3	混合構造
建設路	
N 1	RCパネル造
N 2	補強組積造
N 3	混合構造
N 4	混合構造
N 5	補強組積造
N 6	混合構造
N 7	混合構造
N 8	RCパネル造

表 A2 調査のまとめ

構造形式	住宅地の数	割合
補強組積造	5.5	25%
混合構造	11	50%
RCパネル造	5.5*	25%

*：調査地点E5では、1つの住宅地の中に、補強組積造の建物とRCパネル造の建物が混在していた。建物形式の混在を「0.5カ所」と表した。

どの住宅にも、おなじ棟数の集合住宅が建設されているとすれば、構造形式別の「住宅地の数」の割合（表A2）は、「棟数」の割合と読み替えることができる。市外図を見ると、どの住宅地も一辺が2～300m程度の四辺形であり、大きさの違いはなく、建物の数にも大きな違いはないように思われた。「住宅地の数」から「棟数」への読み替えに、大きな無理はないと判断した。

Enhancement of Regional Safety Attained in the
Reconstruction from a Disaster :
Case Study of the 1976 Tangshan, China Earthquake

Keishi Shiono* and Yutaka Ohta**

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

**Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Comprehensive Urban Studies, No. 51, 1993, pp. 77 - 87

Comparing an estimated death toll in the reconstructed environment of Tangshan with the actual deaths in the 1976 earthquake, we evaluated the enhancements in seismic safety attained during the reconstruction. It was found that while the most severely affected area was remarkably improved, the less severely affected area was not rebuilt to the standards of the most severely affected area. The increased safety of the most severely affected area are attributed to the reinforced concrete elements of the buildings. The hazardous situation in the less severely affected area is due to the collapsible nature of the unreinforced masonry construction.