

災害からの復興にともなう地域の安全化*

— 中国・唐山地震による事例研究 —

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

塩野計司**

By Keishi Shiono

ABSTRACT

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 can be 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.

1. はじめに

災害の発生をきっかけとして、構造物の強化や土地利用計画の改善が図られ、被災域の防災性が向上した例は少なくない。

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察した。

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概念と基礎知識を

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、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。

*キーワード：地震災害、災害復興、被害推定

**正会員 工博 東京都立大学工学部土木工学科
(192-03 八王子市南大沢一丁目1)

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¹⁾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もとづく被害推定には、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「振動台試験」に用いた入力地震は、あくまでも仮想の地震であり、現実のサイズシティをまったく反映していない。にもかかわらず、この入力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ができ、しかも、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: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。

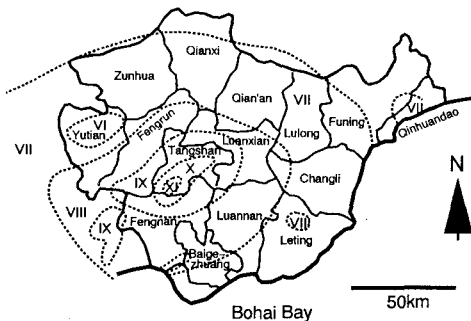


図1 事例研究の対象域(震度は文献¹⁾による)

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うけた。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^{2), 3)}を収集し、震度と倒壊率の関係(倒壊率関数)を整理した(図2)。この研究では、「修復できない」被害を「倒壊」と考えた。

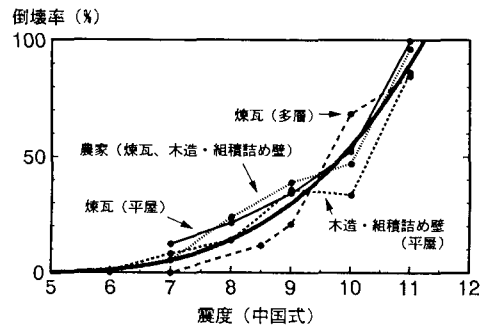


図2 倒壊率関数(唐山地震)

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:

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

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判ったので、建物の平均的な強度を、ただ一つの倒壊率関数で表した。この被害率関数(図2の太線)を与える特化係数は、つぎ

のように求められた⁴⁾ : $I_0 = 4.29$ 、 $I_{100} = 11.23$ 、 $n = 3.11$ 。

(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⁵⁾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⁶⁾は、死者発生率の全体的な態様を示したものととして貴重である。

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⁴⁾:

$$\begin{aligned} F_{100} &= 30.1 \\ n &= 1.78 \end{aligned} \quad \dots\dots (3)$$

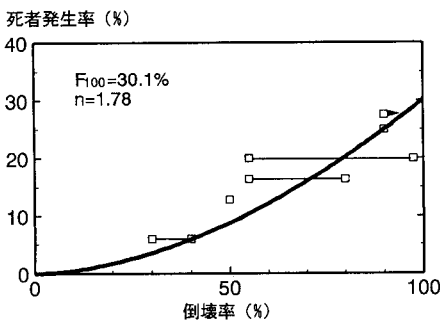


図3 死者率関数

上記の係数をもつ死者率関数を図3に示した。図のなかには、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が示された。

3. 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:

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

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、べつの機会^{7), 8)}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、表2に示した3種類に大別できる。

国家地震局⁹⁾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: 非補強煉瓦、耐震設計をしていない鉄筋コンクリート、耐震設計した鉄筋コンクリートについて示されていた。

表2 集合住宅の構造形式とその割合

構造形式	棟数比
補強組積 (Confined Masonry) ¹⁾	25%
合成構造 ²⁾	50%
鉄筋コンクリート・パネル	25%

1) 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。鉄筋コンクリート部材によって煉瓦壁を拘束 (confine) し、強度を向上させている。

2) 外壁には補強組積 (Confined Masonry)、内壁には鉄筋コンクリート・パネルを使用。

はじめに、唐山市の集合住宅の構造形式と、国家地震局⁹⁾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。合成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、文献⁹⁾に示され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 (文献⁹⁾に示されたデータを図4にプロット) をもとに、構造形式ごとの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4のプロットへの「曲線のあてはめ」(シンプレック法による)を行って決定した。文献⁹⁾には、震度9まで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))による外挿を行い、震度11までの倒壊率を推定した(図4)。倒壊率関数の特化係数を表3に示した。

なお、倒壊率関数を求める実際の手順は、補強組積、合成構造、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、文献⁹⁾に示されたデータを利用するための便法として、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、構造形式べつの居住者数を把握するために必要だった(式(3))。

倒壊率 (%)

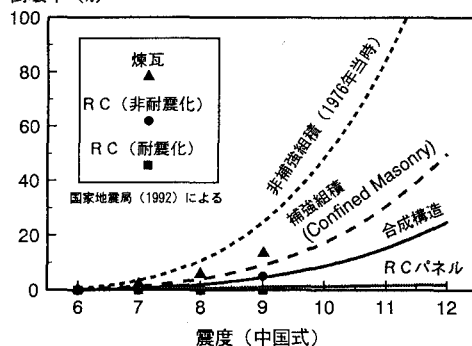


図4 集合住宅の倒壊率関数

表3 倒壊率関数の特化係数

構造形式	l_0	l_{100}	n
補強組積	4.1	13.7	3.63
合成構造	4.1	15.7	3.63
RCパネル	4.1	34.6	3.63

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。調査の結果を表2に示した。また、この調査によって、集合住宅の大きさ(1棟あたりの居住者数)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。

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⁹⁾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。図5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。

死者数の推定には、新しい建物の倒壊率関数を用いた。ただし、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。

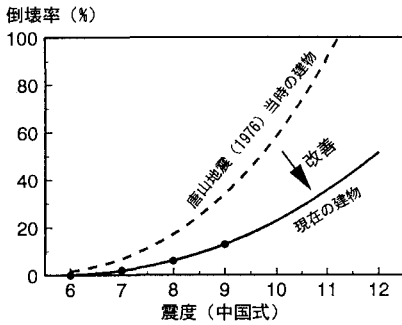


図5 非補強組積造建物の倒壊率関数

(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： $F_{1.0} = 30.1$ 、 $n = 1.78$ 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こ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¹⁰⁾。

(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¹⁾

を式(4)に代入し、死者数を推定した。結果を表4に示した。

4. 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20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ものと推測される。

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らない。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(2万人)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、万のオーダーに達した。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6)。唐山地震の被災域(唐山市、唐山地区)が、いまなお「第一級」の災害を発生させる素地を残していることが指摘できる。

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

表4 死者数の予測値(唐山地震のデータとの比較)

	死者数(かっこ内は死者発生率)	
	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%)

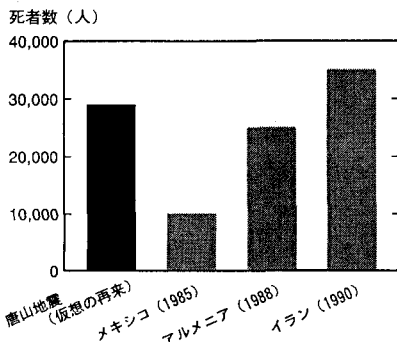


図6 近年の主要な地震災害による死者数の比較

達成されたものの、面（すなわち、唐山地区の14の行政単位）にまでは及んでいないことが判った。被害の中心部でのめざ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。これらの発見は、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問題であり、今後の課題の一つとして取り上げたい。

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、壁などをもつ、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。

参考文献

1) 楊 理華 (Yang, L.): 唐山地震の烈度分布, 唐山大地震震害, 地震出版社, 中国・北京, Vol. 1, pp. 124-131, 1986年. (中国語)

2) 缺 天柱・楊 玉成 (Wu, T. and Y. Yang): 多層磚房の震害統計, 唐山大地震震害, 地震出版社, 中国・北京, Vol. 2, pp. 6-18, 1986年. (中国語)

3) 楊 德榮・鄧 海峰 (Yang, D. and H. Di): 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, 1986年. (中国語)

4) 塩野計司・太田 裕: 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, 1992年.

5) Coburn, A. W., A. Pomonis, and S. Sakai: 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, 1989.

6) 王 子平・他 (Wang, Z. et al.): 瞬間与十年—唐山地震始末, 地震出版社, 中国・北京, 263pp., 1986年. (中国語)

7) Shiono, K., F. Krimgold, and Y. Ohta: 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, 1991.

8) Shiono, K., F. Krimgold, and Y. Ohta: A method for the estimation of earthquake fatalities and its applicability to the global macro-zonation 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, 1991.

9) Research Group of Estimating Losses from Future Earthquakes, Department of Seismic Hazard Prevention, State Seismological Bureau, China: Estimating Losses from Earthquakes in China in the Forthcoming 50 Years, Seismological Press, Beijing, China, 60pp. with 3 foldout maps, 1992.

10) Sakai, S.: Survival modeling of victims trapped in collapsed buildings in earthquakes, Journal of Natural Disaster Science, 13, No. 2, pp. 69-95, 1991.