

トルコ主要都市の地震リスク評価

栗田哲史¹・安中 正²・福島誠一郎³

¹アジア防災センター 主任研究員

(〒651-0073兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2ひと未来館5階)

E-mail:kurita@adrc.or.jp

²東電設計株式会社 技術開発本部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

E-mail:annaka@tepsco.co.jp

³東電設計株式会社 防災プロジェクト部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

E-mail:fukushima@tepsco.co.jp

トルコ共和国では、1999年8月17日のKocaeli地震、同年11月12日のDuzce地震と、北Anatolia断層上の地震が立て続けに発生した。同断層上の地震は、東方から西進することが指摘されており、断層西端に位置するトルコ最大の都市Istanbul付近で地震の発生が懸念されている。また、同国にはその他の断層も多く確認されており、Istanbul以外の都市の地震リスクも大いに懸念される材料である。

本研究では、トルコの主要都市に影響を及ぼすと予想される断層をピックアップし、各都市の物的・人的被害推定を実施し、さらに経済的な損失を見積もることによって、地震リスクの評価を行った。

Key Words : Turkey , seismic risk, physical loss, human loss, economic loss, urban disaster

1. はじめに

1999年8月17日にトルコ北西部の北Anatolia断層上で発生したKocaeli地震(Mw7.4)では、1万7千人以上の死者と約4万4千人の負傷者および6万から10万棟の建物倒壊を伴う大被害となった¹⁾。更に、同断層上で引き続き同年11月12日に発生したDuzce地震(Mw7.1)では、死者800人以上、負傷者約5千人、建物倒壊100棟以上の被害をもたらした¹⁾。同断層上の地震は、東方から西進することが指摘されており、断層西端に位置するトルコ最大の都市Istanbul付近で地震の発生が懸念されている。Kocaeli地震の総被害額は世界銀行²⁾によって31億～65億ドルと見積もられており、これは同国GDPの2.4%～5.1%に達するため経済・財政的にも深刻なものであった。これが、1千万人都市Istanbul近傍で発生した場合の被害はKocaeli地震の比では無く、また経済的影響が甚大なものになることは想像に難くない。

また、トルコはAnatolia断層のみならず、国土に多くの活断層を抱えており、Istanbul以外の都市も地震によるリスクを抱えている。日本に限らず、地震国では予め都市の地震リスクを算定し、それに備えておくことは意義深いと考える。

本研究では、近い将来に地震発生が予想されるIstanbul県その他、Ankara県、Izmir県などの主要都市を対象として、各都市ごとに選定した危険性の高い想定地震に対する定量的な被害推定を行った。被害

予測では人的、物的、経済的の各損失を求め、それぞれの項目からトルコ主要都市の地震リスク評価を行った。なお、被害推定においては、Kocaeli地震における実被害データにより推定手法のキャリブレーションを行っている。

2. 評価手法

(1) 基本データ

本研究で対象としたトルコ各県の基本データを表-1に示す。各都市とも人口および経済の両面で同国の主要地域であることが分かる。

被害推定に使用した想定地震の概要を表-2に示す。No.5の地震は推定手法の検証用に用いた1999年Kocaeli地震を示している。対象地域と想定地震断層を図-1に示す。

表-1 対象地域の基本データ

県	Ankara	Istanbul	Izmir	Kocaeli	全国
面積(km ²)	25,401	5,312	12,016	3,625	783,577
人口 ^{*)} (万人)	400.8	1,003.3	337.1	120.6	6286.6
GDP ^{**) (億\$)}	98.6	271.3	87.5	52.4	1,241.8
<占有率>	7.9%	21.8%	7.0%	4.2%	100%
<成長率>	62.1%	49.4%	52.7%	39.9%	48.2%

*) 2000年統計, **) 1999年統計

表 - 2 想定地震

No.	県	Mw	断層の場所	備考
1	Ankara	7.6	Ankaraの北19km	北Anatolia断層
2	Istanbul	7.5	Istanbul南方沖7km	JICA Model A ³⁾
3	Istanbul	7.7	同上	JICA Model C ³⁾
4	Izmir	6.5	Izmir直下	Bogazici Univ. ⁴⁾
5	Kocaeli	7.6	Izmit湾	1999 Kocaeli地震

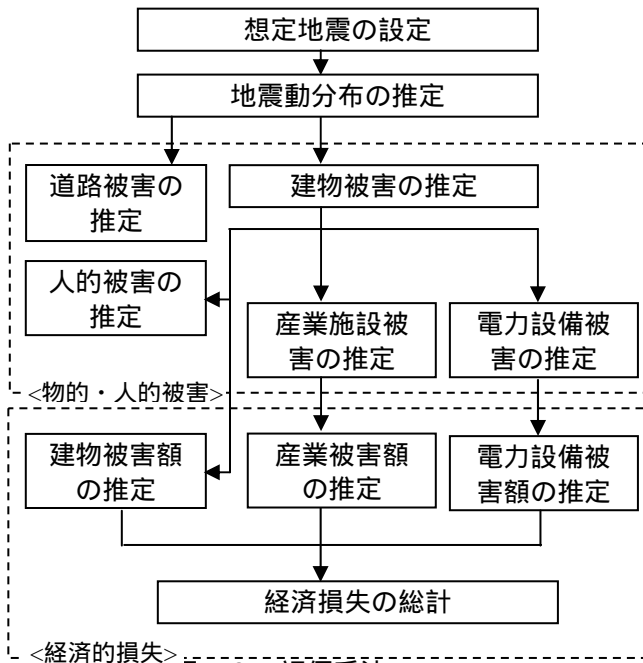


図 - 2 評価手法のフロー

(2) 評価手法の概要

各都市のリスク評価手法のフローは図 - 2 に示すとおりである。

最初に想定地震に基づいて、各地の地震動分布を推定する。各地の地震動強さ推定には、MSK震度を推定する距離減衰式を作成し、表層地盤の増幅特性は、岩、第三紀層、第四紀層の三段階で設定した。

建物被害は、MSK震度階に関する被害関数を作成して求めた。道路被害以外の物的被害および人的被害は、建物被害の関数として求めた。

経済的損失では、建物被害額を建物建設統計¹⁰⁾に記載されている建物資産額から算定、電力設備被害額と産業被害額はKocaeli地震における被害実績の平均値を用いて算定した。産業施設の物損についてはKocaeli産業界によってまとめられた同地域の平均的修復費用¹²⁾を、生産障害についても同様の統計値¹²⁾を適用した。全被害額は、物損と生産障害との合計によって求められる。

(3) 推定精度の検証

図 - 2 に示した手法を用いて1999年Kocaeli地震の再現をした結果と実被害との比較を行った。建物被害に関する比較を図 - 3 に示す。両者はよく一致しており、本推定手法が十分な精度を有していることが確認できた。

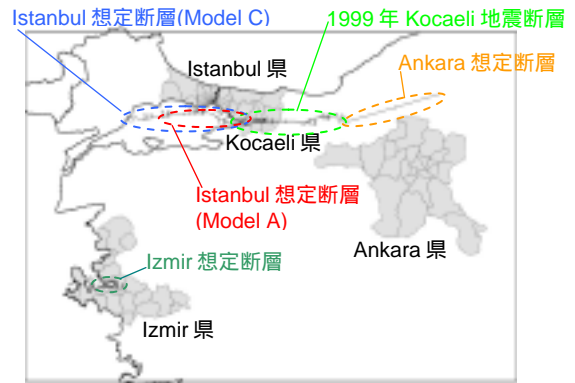


図 - 1 対象地域と想定地震断層

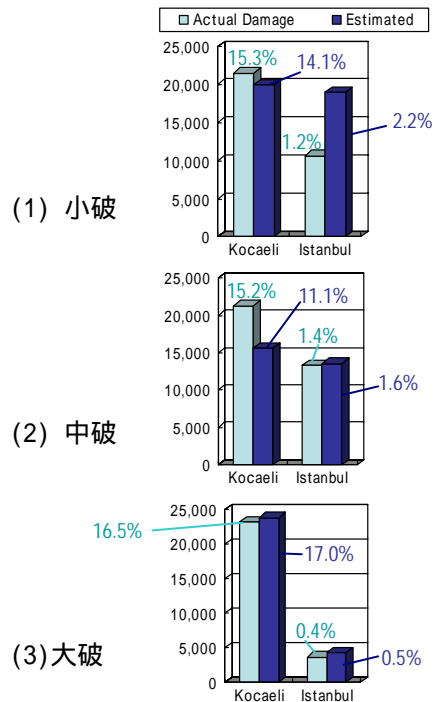


図 - 3 建物被害の推定結果比較

3. 物的被害および人的被害

各県の被害推定結果を表 - 3 に示す。Ankaraの被害が微少である一方、Istanbulの被害が甚大であることが分かる。Izmirの被害は、両者の中間程度となっている。Istanbulの被害推定において、想定震源断層Model AとModel Cによる被害量の違いは大きくない。

4. 経済的損失

各県の推定被害額は表 - 4 に示す通りである。地域による格差は存在するが、全体的傾向として建物被害額が全被害額の大半を占めている。

1999年Kocaeli地震の総被害額は、世界銀行によって約31～65億ドルと見積もられている²⁾。それと比較して、Istanbulの被害額は10倍程度となり甚大である。Izmirの被害額は、Kocaeli地震の場合に近い結果になっている。

表 - 3 物的被害および人的被害の推定結果

地域		Ankara 県	Istanbul 市 ^{*)}		Izmir 県
断層モデル種別		-	Model A	Model C	-
人口 (2000 年)		4,007,860	9,040,059		3,370,866
人的被害 (人)	死者	35	73,487	87,273	18,247
	負傷者	64	119,609	135,169	29,490
総建物棟数 (棟)		384,489	724,623		753,690
建物被害棟数	大破 (棟)	130	51,447	59,176	13,672
	中破以上 (棟)	1,062	113,535	128,047	37,252
	小破以上 (棟)	2,329	252,370	272,953	70,157
配電設備総数	中圧トランス (器)	107	206		48
	低圧トランス (器)	8815	12733		9662
	中圧送電線 (km)	10265.4	11493.3		8767.8
	低圧送電線 (km)	22819.4	29180.8		13253.3
配電設備被害数	中圧トランス (器)	0	21	51	0
	低圧トランス (器)	27	899	1165	250
	中圧送電線 (km)	13.6	198.1	262.9	92.0
	低圧送電線 (km)	12.0	619.9	810.1	94.7
高速道路延長 (km)		195.17	229.87		189.0
高速道路被害箇所数		4	28	36	14

*) Istanbul 特別市域のみ

表 - 4 経済的損失の推定結果

(単位: 百万 \$)

地域			Ankara 県	Istanbul 県		Izmir 県
断層モデル種別			-	Model A	Model B	-
建物	住居		142.2	9,977.4	11,335.9	1,938.9
	商用		25.3	7,770.6	8,714.3	600.5
	その他		22.0	768.9	864.3	117.7
産業	物損	建物	7.9	1,353.5	1,543.0	286.9
		土地	5.5	941.5	1,073.3	199.6
		車両	1.3	222.9	254.1	47.2
		機器類	15.0	2,567.9	2,927.4	544.3
	生産障害		39.6	6,781.1	7,730.3	1,437.4
配電設備被害			0.6	14.9	20.5	4.7
総計			259.4	30,398.7	34,463.1	5,177.2
GDP 比 (%)			0.2	24.5	27.8	4.2

5. 建物耐震補強の効果

(1) 物的被害および人的被害への影響

耐震補強による地震被害軽減効果の検討を試みた。耐震補強の有無による被害量の差を図 - 4 に示す。図中の “Current” は現状を, “Retrofitted” は耐震補強後の結果を表している。ここでは, 対象域内の全建物について耐震補強が実施され, 且つ, それらはトルコの現行耐震基準を満たす強度を有していると仮定している。

結果より, 耐震補強を施すことにより, 大破する建物棟数が劇的に減少することが分かる。本検討により, 耐震補強がトルコの地震被害を軽減するために有効であることが結論付けられる。

(2) 経済的損失への影響

耐震補強による被害額軽減効果に関する検討結果を図 - 5 に示す。図より, 耐震補強を実施する

ことにより, 被害額が大幅に減少することが分かる。減少率は 70% 以上となっている。耐震補強した場合の Istanbul の被害総額はトルコの GDP 比約 7% となり, Kocaeli 地震の被害額に近い値まで減少する。

6. まとめ

Istanbul に大地震が発生した場合, 甚大な被害となることが予想される。その場合, 総被害額はトルコの GDP 比 20% 以上に達する。これは Kocaeli 地震の約 10 倍の規模であり, トルコの経済・財政に深刻な影響を与える。

建物に対する耐震補強は, 大破建物棟数を減少させるため, 人的被害の軽減に有効である。更に, 現状予想されている甚大な経済的損失を大幅に減少させる効果もある。

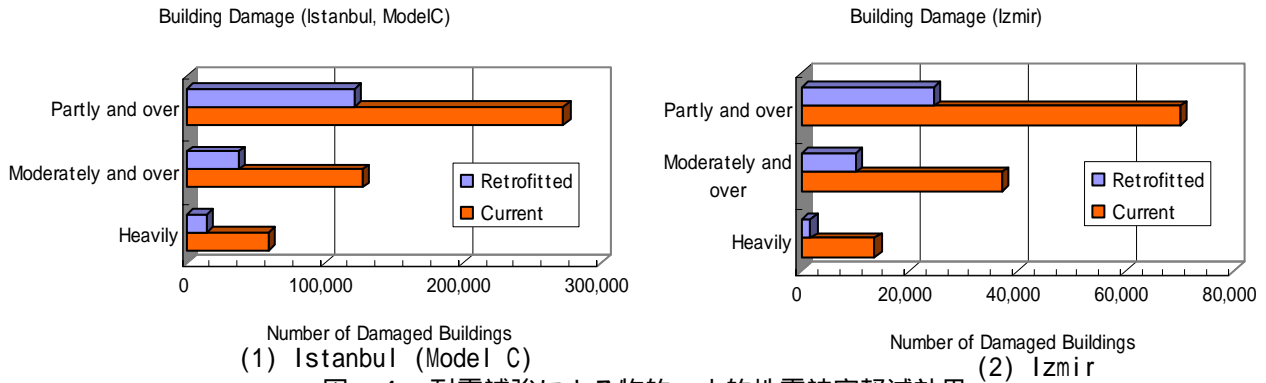


図 - 4 耐震補強による物的・人的地震被害軽減効果

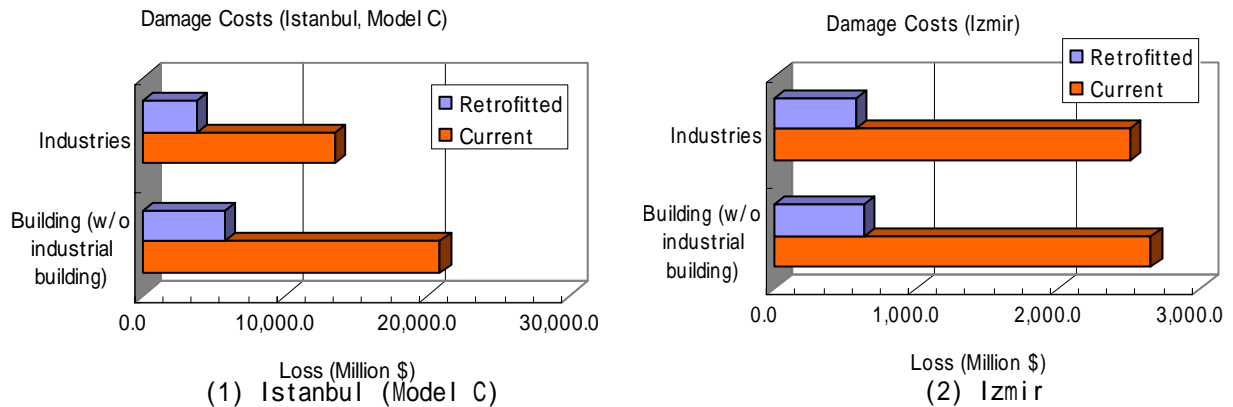


図 - 5 耐震補強による経済的損失軽減効果

謝辞：本研究は国際協力銀行の調査業務として実施したものである。関係各位に謝意を表します。また、本調査を共同で実施した監査法人トーマツの森本裕二 部長および東京大学生産技術研究所の目黒公郎 助教授には有意義なご意見を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Youd, T. L., Bardet, J.-P. and Bray, J. D. ed. : Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999 Reconnaissance Report, Earthquake Spectra, Supplement A to Volume 16, 2000.
- 2) Turkey Country Office, The World Bank : Turkey; Marmara Earthquake Assessment, September, 1999.
- 3) JICA : The Study on A Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, Draft Final Report, September 2002.
- 4) <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/izmirrapor2002.htm>
- 5) Riken Earthquake Disaster Mitigation Research Center : Report on the Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999, The 1999 Turkey Earthquake Report, Vol.1, August

- 2000.
- 6) Sinan Akkar and Polat Gulkan : A Critical Examination of Near-Field Accelerograms from the Sea of Marmara Region Earthquakes, Bulletin Seismological Society of America, Vol.92, No.1, pp.428-447, February 2002.
- 7) State Institute of Statistics, Prime Ministry Republic of Turkey : Statistical Yearbook of Turkey 2000, August 2001.
- 8) State Institute of Statistics, Prime Ministry Republic of Turkey : Census of Population 2000, Social and Economic Characteristics of Population, 06-Ankara, October 2001.
- 9) State Institute of Statistics, Prime Ministry Republic of Turkey : Building Census 2000, September 2001.
- 10) State Institute of Statistics, Prime Ministry Republic of Turkey : Building Construction Statistics 2000, September 2001.
- 11) T.C. Kocaeli Valiligi : 17 Agustos Depremi & Kocaeli, 11 Temmuz 2002.
- 12) Kocaeli Sanayi Odasi : Kocaeli's industry After Earthquake. Hill, R.: A self-consistent mechanics of composite materials, *J. Mech. Phys. Solids*, Vol.13, pp. 213-222, 1965.

(2003. 9. 11受付)

Seismic Risk Estimation for Principal Cities in Turkey

A large earthquake with a moment magnitude of 7.4 hit the northwestern part of Turkey on August 17, 1999, causing serious and extensive damage in the area. Continuously, the Duzce earthquake was occurred on November 12, 1999 along the North Anatolian fault. In this area, it has been continuously worried about the earthquakes that frequently occur. The main objective of this study is to estimate the seismic risks for principal cities in Turkey.

In this study, damage to structures was calculated based on a vulnerability function, which is a relationship between the ground-motion intensity and the damage probability. Damage to human was obtained as a function of building damage. The function was constructed based on the past earthquake damage to human in Turkey. The economic loss was evaluated from the physical damage.