

## 第5章 TCIP の地震保険モデル

トルコ財務省および TCIP は、用いている地震保険モデルについては、EQE-CAT 社、RMS 社、AIR 社のモデルを参考としている、ということ以上の詳細については公表していない。ここで示す地震モデルは、RMS 社および EQE-CAT 社へのインタビューに基づくものである。

### 1. 地震保険モデルの概要

トルコの地震保険のためのモデルは、以下の3つのモジュールから構成されている。

- ・確率統計モジュール（地震の発生に関する確率を提供するモジュール）
- ・ハザードモジュール（与えられた地震による当該地区の地盤の危険の確率を提供するモジュール）
- ・被害の受け易さモジュール（地盤の危険期待値に基づく当該建物の被害の確率を提供するモジュール）

これらの各モジュールに用いる基礎データとしては、

- ・国勢調査データ
- ・地盤情報データベース（土質マップ）
- ・建物調査データ
- ・TCIP 情報

が用いられている。

### 2. 確率統計モジュール

確率統計モジュールは、それぞれの地震ゾーン、地震ラインごとに最大発生マグニチュードおよび再現期間を示すことを目的としている。

地震ゾーン、地震ラインとは、地震の可能性のあるゾーンあるいはラインのことであり、プレートテクトニクス状況や断層の分布、過去の地震発生データを基に確率過程モデルを作成し、トルコ全土で 116 設定されている。図 5.1、図 5.2 は、想定しているプレート構造および想定している断層を示している。活断層の詳細なデータがあるところでは、地球物理学的モデルが地震活動度の計算に使われている。

モデルは、Poissonian recurrence relationships に従うとして構築されている。ただし、北アマトリアン地域、マルマラ地域については、時間依存性（規則性）、応力移行（stress migration）効果も考慮されている。

時間依存性とは、ある種の条件付確率で表現され、ある特定の断層で過去のある時に同様の地震が起こったことを与条件としたとき、将来のある時期（例えば 2009 年から 20 年間）に同じような地震規模のものが発生する確率、といった形で与えられる。

その他、国の周辺地域についての地震発生については、別途考慮されている。

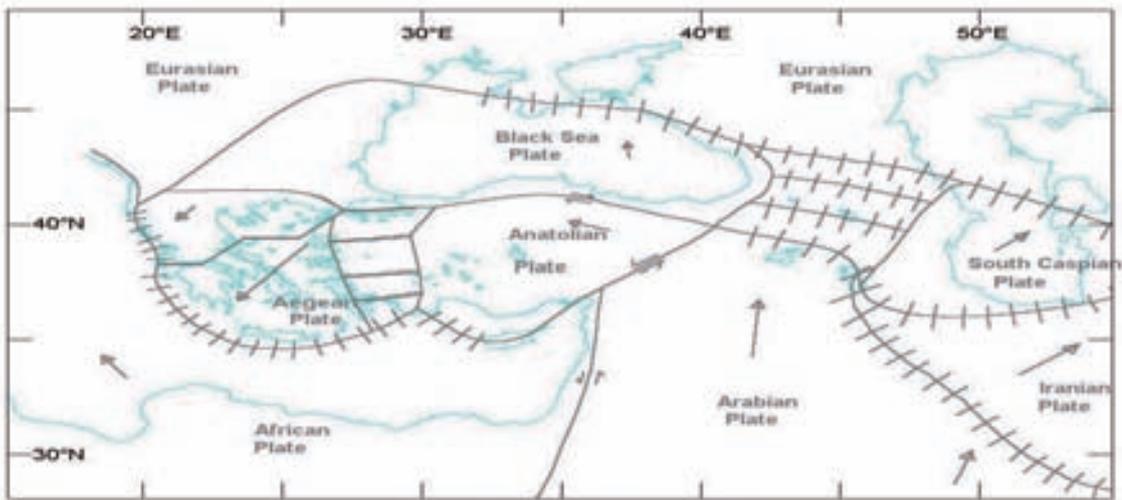


Figure 1a. Tectonic Features (After McKenzie, 1972).

図 5.1 確率統計モジュールで想定しているプレート構造<sup>1)</sup>

注) 図中曲線はプレート境界を示し、ひげ線部は境界に直角方向の力(圧縮/引張り)が、また単線部は境界に並行方向の力(ズレ、せん断)が作用していることを示していると推察する。

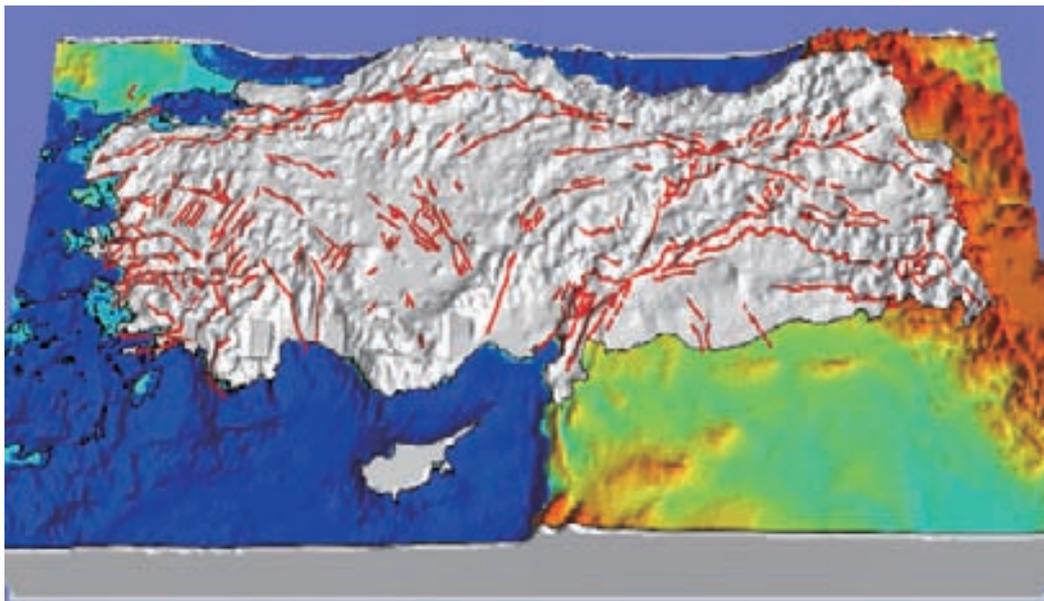


図 5.2 確率統計モジュールで想定している断層<sup>1)</sup>

注) 赤線がモデル化している断層を示していると推察する。

トルコでは古く長い歴史地震データがあり、それらのデータが使用されている。図 5.3 は、確率統計モジュールで参考としている歴史地震を、図 5.4 は、確率統計モジュールで用いている震源ゾーンを示している。

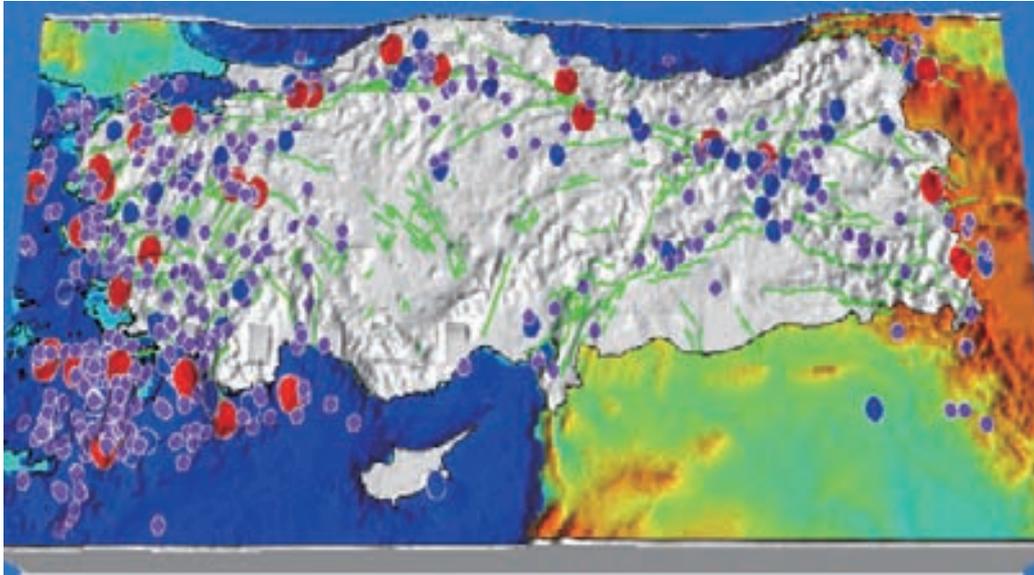


図 5.3 確率統計モジュールで参考としている歴史地震（1904～1992 年）<sup>1)</sup>

（凡例: M 5.0-5.9 (紫); M 6.0-6.9 (青); M 7.0+ (赤))

注) 緑線がモデル化している断層（図 5.2 と同じ）を示していると推察する。

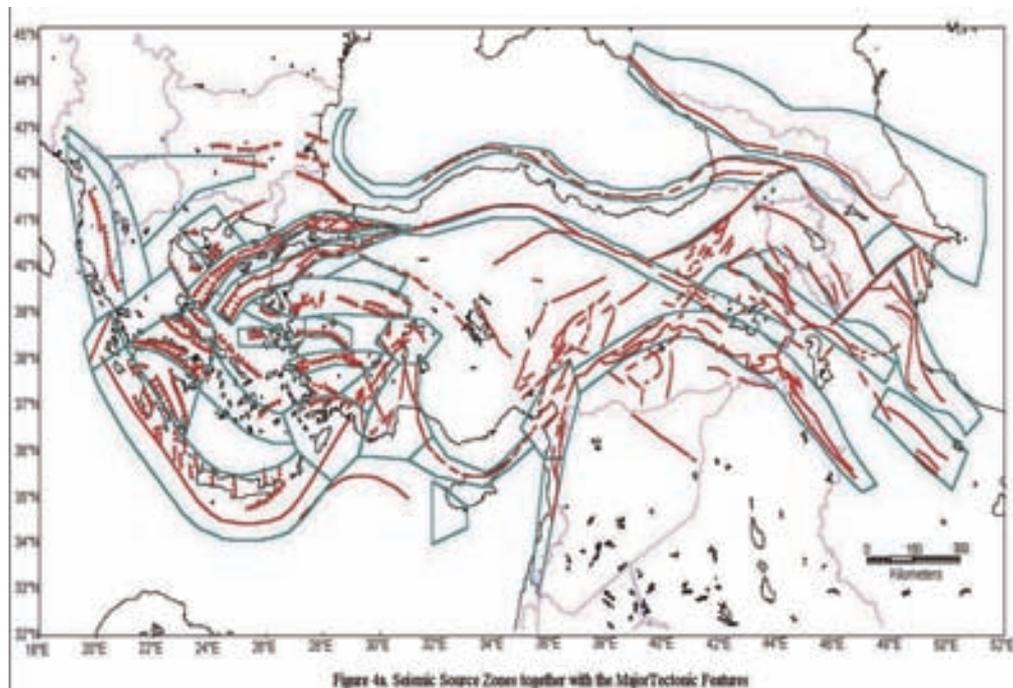


図 5.4 確率統計モジュールで用いている地震ゾーン<sup>2)</sup>

注) 赤線が主要断層を、緑線がモデル化した地震ゾーンを示していると推察する。

マルマラ地域での想定地震ラインおよび地震ゾーンを図 5.5 に示す。

このエリアにおけるマグニチュード 6.5 以上の想定地震は、次の 3 つの想定地震ライン/地震ゾーンで起こり得るとされている。

- ①North Anatolian Fault (NAF)
- ②Northern NAF (NNAF)
- ③Southern NAF (SNAF)

表 5.1 から伺えるように、マルマラ地域の事象発生確率には次の 3 つの要素が考慮されている。

- ①ソースモデル
- ②最終地震発生時期
- ③隣接するセグメントで起こる地震に影響されて移行する応力の量

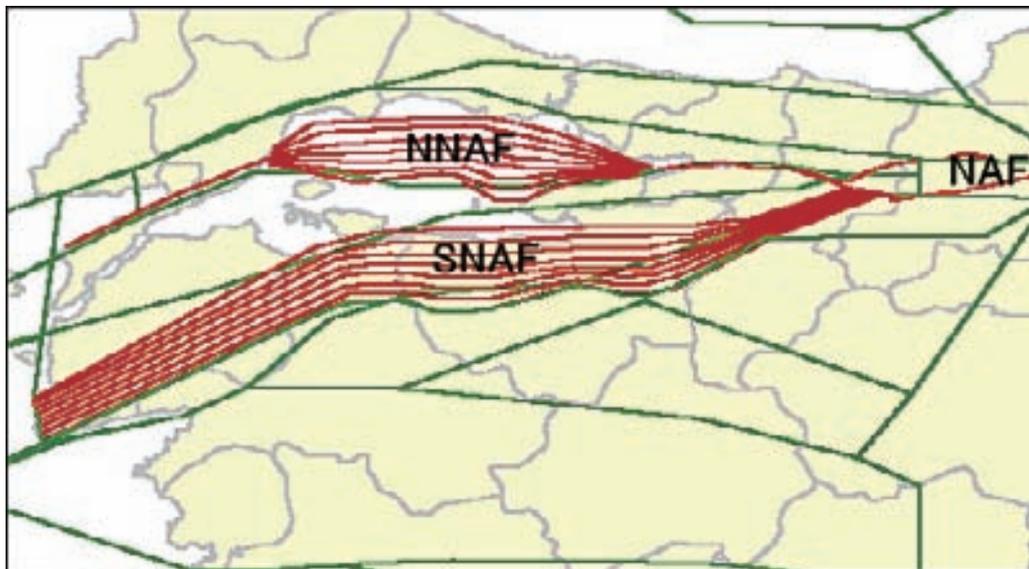


図 5.5 マルマラ地域での想定地震ラインおよび地震ゾーン<sup>1)</sup>

注) 赤線は想定地震ラインを、緑線は地震ゾーンを示すと推察する。(想定地震ライン/地震ゾーン名を筆者により追記)

表 5.1 イスタンブール地域の地震確率<sup>3)</sup>

(イスタンブールから 50km 圏で M7 の断層地震が起こる確率 (基準年 2000 年 5 月))

断層	30 年確率(%)		10 年確率(%)		1 年確率(%)	
	Interaction	Secular	Interaction	Secular	Interaction	Secular
Yalova	33±21	22±18	14±11	7±7	1.7±1.7	0.8±0.8
Prince's Is.	35±15	26±12	16±9	10±6	2.1±1.6	1.1±0.7
Marmara	13±9	11±8	5±5	4±4	0.6±0.7	0.5±1.0
Combined	62±15	49±15	32±12	20±9	4.4±2.4	2.3±1.5

(Interaction には、Secular (当該断層のみの確率) と他の断層の影響による確率の両方を含む。)

### 3. ハザードモジュール

ハザードモジュールは、ある地点での地震の影響（地表面の震動、液状化）を正しくモデル化するため、その地域でのいくつかの地盤にかかわるリスク特性を特定するモジュールである。

地表面の震動に関するハザードモジュールは、地震によりその地域の基盤における揺れの大きさ（Ground-shaking）を求める部分と、そこから地表面の揺れの大きさを求める部分に分けられる。

基盤における揺れの大きさを求める際は、通常地震工学モデルを使用している。

ある特定の地震発生ゾーンを設定し、対象地区での基盤の揺れの大きさを求めるため、地震エネルギーの距離減衰を解析することとなるが、そのために地域に特有な距離減衰式を採用している。

ここで使われた距離減衰式は、地震エネルギー伝達に影響する地殻的・地盤的などの要素が加味されたもので、地震専門家によってトルコの地震環境に適切であると認められたものを使用している。具体的には以下のような距離減衰式がある。

- ・浅い地殻内の地震（shallow crustal earthquakes）に適用できる距離減衰式
  - ・ Abrahamson and Silva (1997)
  - ・ Boore et al. (1997)
  - ・ Campbell (1997)
  - ・ Sadigh et al. (1997)
- ・サブダクション帯の地震（subduction earthquakes）に適用できる距離減衰式
  - ・ Youngs et al. (1997)
- ・ 1999 イズミット地震で検証された距離減衰式

基盤の揺れの大きさが特定されると、次は 50 万分の 1 の地質図で得られている NEHRP 土質情報などの表層地質データを用い、土質と平均 S 波速度<sup>注)</sup>（図 5.6 は平均 S 波速度の分布図）との関係や平均 S 波速度に基づく地震動の増幅についての研究成果を適用し、地表最大加速度（PGA: Peak Ground Acceleration）が求められ、確率モジュールを考慮することにより、各地域における地表最大加速度の確率が算出されている。それらの成果は、横軸を地表最大加速度、縦軸を再現期間とするハザードカーブ（図 5.7）や地点ごとの地表最大加速度に応じて色分けしたハザードマップ（図 5.8）として整理されている。ちなみに、ハザードカーブでは、右下になるほど大きな地表最大加速度が短い間隔で発生しやすいことになる。また、ハザードマップでは、赤色になるほど大きな地表最大加速度が発生しやすいことが示されている。

液状化についても液状化の起りやすい地盤別に分けることなどにより、被害想定に考慮される。

なお、地震後の火災や津波による被害は、このモデルでは考慮されていない。

---

注) 平均 S 波速度は、地震動の S 波が当該地盤を伝わる速度の平均値を指し、地盤が硬いほど S 波速度は大きくなる。

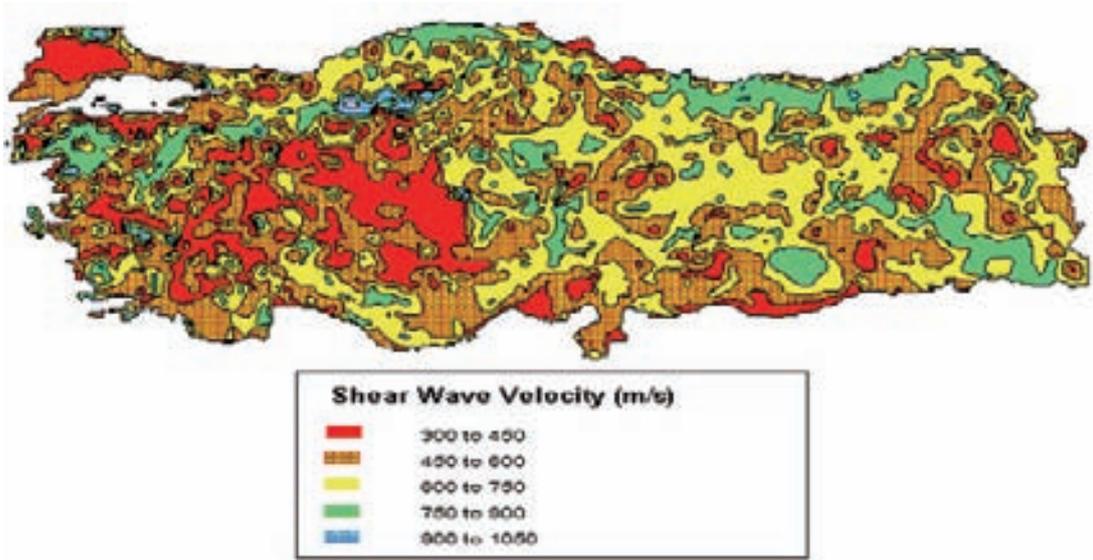


図 5.6 平均 S 波速度の分布図<sup>1)</sup>

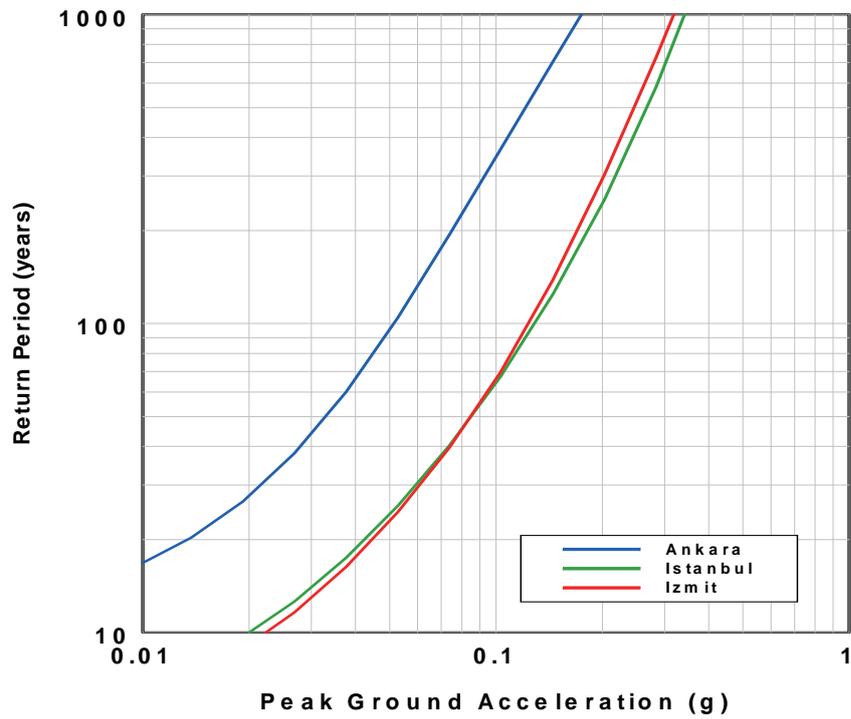


図 5.7 地震ハザードカーブの例<sup>1)</sup>

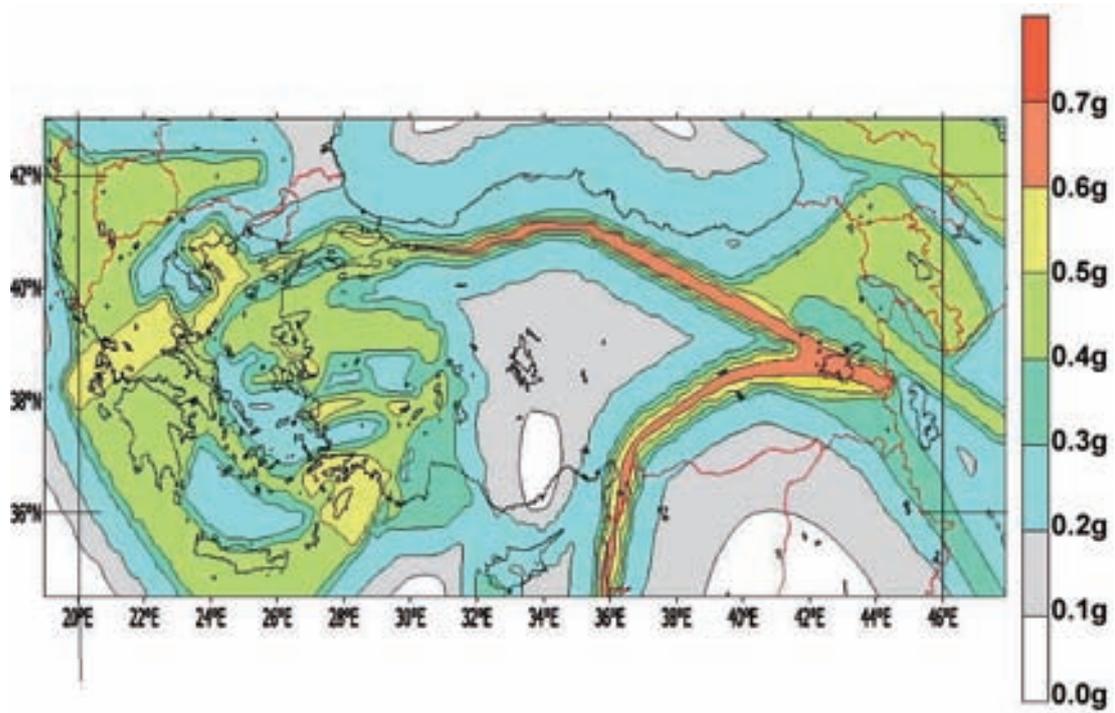


図 5.8 地震ハザードマップの例<sup>2)</sup>: ソフトロックの上で 50 年に 10%以上の可能性 (475 年の再現期間) がある地表最大加速度 (g)

#### 4. 被害の受けやすさモジュール

被害の受けやすさモジュールは、ある地点に位置するある建物の地震の影響を正しくモデル化するため、その建物についてのリスク特性を特定するモジュールである。

被害算出にあたり、四つの重要なパラメータが採用されている。表 5.2 から表 5.6 に各項目を記載する。

- ①建築物クラス（表 5.2 参照）
- ②使用目的（表 5.3 参照）
- ③付加的分類
  - －建築時期（表 5.4 参照）
  - －建築階数（表 5.5 参照）
  - －二次的な特性（表 5.6 参照）
- ④建設統計カタログデータ

なお、“④建設統計カタログデータ”は、個別の建物分類の詳細が不明な場合等を想定し設定されたものであり、地域の都市化状況から建物構造の割合を判断し、被害状況を推定しようとするものであり、地域の状況や時代の変化などに応じて適宜作成・更新されるものである。

表 5.2 建築物クラス

出典：RMS インタビュー

0	不明
2B1	補強されていない切り出し石
2B2	補強されていない土のブロック
2B3	補強されていないコンクリートブロック
3A1	耐力のある RC のフレーム
3A2	耐力のある RC のフレームと耐力壁
3A3	耐力のある RC のフレームと補強されていない石ブロックによる壁
3A4	RC せん断壁有り
3A5	格子壁あるいは平らな厚板
3B1	プレキャスト製の耐力フレーム
3B3	プレキャスト製の耐力フレームと補強されていない石ブロックによる壁
4A1	鉄骨フレーム
4A3	鉄骨フレームと補強されていない石ブロックによる壁
4B1	軽金属フレームと補強されていない石ブロックによる壁（外壁や基礎がコンクリート）
4B2	軽金属フレームと補強されていない石ブロックによる壁（外壁や基礎が補強されていない石ブロック）

表 5.3 用途

出典：RMS インタビュー

0	不明
1	専有住居（一家族）
2	専有住居（大家族）
3	商業ビル
4	工業目的ビル

表 5.4 付加的分類：建築時期

出典：RMS インタビュー

1975 年以前	（1975 年に耐震基準変更）
1975～1998	（1998 年に耐震基準変更、イズミット地震以前）
1998～	（1998 年に耐震基準変更、イズミット地震以降）

表 5.5 付加的分類：建築階数

出典：RMS インタビュー

Low	3 階建以内
Mid	4～7 階
High	8～14 階
Tall	15 階以上

表 5.6 付加的分類：二次的な特性

出典：RMS インタビュー

形態（配置）	0 不明 1 通常 2 特異	通常の四角、丸などは被害が少ない。（複雑なものより）
オープンスペース（soft story）	0 不明 1 なし 2 あり	通常下層部はオープンスペース（ロビーなど）が多く、そこはせん断壁などが少なく、地震時、大きな変形やストレスを受ける可能性が高い。
ねじり（torsion）（非対称）	0 不明 1 なし 2 あり	せん断壁などの配置が非対称になっているとゆがみを生じ易く、付加的ストレスを生じさせる。
短柱	0 不明 1 なし 2 あり	応力集中が起こりやすく、せん断破壊しやすい。
構造的改装でアップグレード	0 不明 1 なし 2 あり	古い建物を新しい建築基準にあわせて改装したもの。
建設の質	0 不明 1 良い 2 平均 3 悪い	建設の質を問う。よく管理されて建設されたか。
隣合った建物からの影響	0 不明 1 なし 2 あり	隣合った建物の被害の影響を受けるかどうか。
設備（電気等）	0 不明 1 比較的よく止められている 2 普通 3 ほとんど止められていない	

## 参考文献

- 1) Turkey Earthquake Risk Model – Financing the Risks of Natural Disasters, Dennis E. Kuzak, EQECAT, Inc World Bank June 2-3, 2003
- 2) Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighboring regions, Erdik et al. (1999), Annali di Geofisica, Vol. 42, pp. 1125-1138
- 3) Our results give 50% smaller 1-year combined probabilities, Parsons et al. (2000)