

平成14年度

建設技術移転指針策定調査
(応急危険度判定)

報告書

平成15年3月

国土交通省

社団法人 国際建設技術協会

まえがき

本報告書は、平成 14 年度に国土交通省総合政策局国際建設課より（社）国際建設技術協会が委託を受け、実施した「建設技術移転指針策定調査（被災建築物応急危険度判定・住宅金融）」のうち、応急危険度判定についての成果をとりまとめたものである。

国土交通省は、国際協力事業団（JICA）等の機関を通じて数多くの専門家・技術者を開発途上国に派遣し、技術援助を行うことにより、開発途上国の経済社会基盤施設整備の推進、技術の向上および人材育成に貢献している。技術援助に際しては、当該国の経済社会システム等の現状を勘案して、その発展段階に適切に対応した技術・施設を導入することが重要である。建設技術移転に際しては、さらに円滑かつ有効なものとし、また現地条件により適合したものとするために、都市、河川、道路、住宅、地図等の分野について、専門家が技術移転を行う際の指針のとりまとめを行い、効果的な技術移転を促進させることとしている。

被災建築物応急危険度判定に関する調査は、住宅、建築分野のうち技術移転に関わる課題・問題点の抽出、検討を行い、被災建築物応急危険度判定についての指針を作成するものである。調査を進めるにあたってご協力をいただいた関係各位に深く感謝したい。

平成15年3月

社団法人 国際建設技術協会
理事長 荒牧英城

被災建築物応急危険度判定技術移転指針 委員会

- 委員長 上之菌隆志（国土交通省 国土技術政策総合研究所）
- 委員 今泉晋（建築防災協会 専務理事）
- 委員 荒川総一郎（大成ユーレック取締役）
- 協力委員 林（国土交通省国際建設課 海外協力官）
- 協力委員 高見真二（国土交通省住宅局建築指導課建築物防災対策室課長補佐）
- ワーキング ㈱堀江建築工学研究所（所長 太田 勤、高橋 愛）
- 事務局 海老塚良吉（国際建設技術協会 調査部長）

目次

第1章	はじめに	1- 1
1.1	調査目的	1- 1
1.2	調査の進め方	1- 1
第2章	応急危険度判定の歴史・役割	2- 1
2.1	概要	2- 1
2.2	応急危険度判定の歴史	2- 1
2.3	応急危険度判定の役割	2- 2
2.4	日米欧の応急危険度判定（鉄筋コンクリート造建築物）	2- 3
2.4.1	日本の応急危険度判定	2- 3
2.4.2	米国の応急危険度判定	2- 4
2.4.3	ヨーロッパの応急危険度判定	2- 5
第3章	各国の応急危険度判定	3- 1
3.1	日本	3- 1
3.1.1	判定法	3- 2
3.1.2	実施体制	3- 5
3.2	アメリカ	3- 7
3.2.1	判定法	3- 8
3.2.2	実施体制	3-13
3.3	ヨーロッパ	3-14
第4章	日本および技術協力要請国の建物概要・被害をふまえた応急危険度判定導入の考え方	4- 1
4.1	日本の建物概要と被害の特徴	4- 1
4.1.1	建物概要	4- 1
4.1.2	被害の特徴	4- 2
4.2	トルコへの導入事例	4- 5
4.2.1	建物概要	4- 5
4.2.2	被害の特徴	4- 8
4.2.3	応急危険度判定手法導入の考え方	4-10
4.3	台湾への導入事例	4-15
4.3.1	建物概要	4-15
4.3.2	被害の特徴	4-16
4.3.3	応急危険度判定手法導入の考え方	4-17

第5章 応急危険度判定のない国の建物概要・被害を踏まえた応急危険度判定導入の考え方	5- 1
5.1 フィリピン	5- 1
5.1.1 建物概要	5- 1
5.1.2 被害の特徴	5- 1
5.1.3 応急危険度判定手法導入の考え方	5- 6
5.2 インド	5- 8
5.2.1 建物概要	5- 8
5.2.2 被害の特徴	5- 9
5.2.3 応急危険度判定手法導入の考え方	5-11
5.3 ペルー	5-12
5.3.1 建物概要	5-12
5.3.2 被害の特徴	5-13
5.3.3 応急危険度判定手法導入の考え方	5-14
第6章 おわりに	6- 1

付録

付録1. 日本の応急危険度判定紹介パンフレット（日本語・英語）	付 1-1
付録2. QUICK INSPECTION MANUAL OF DAMAGED REINFORCED CONCRETE BUILDINGS DUE TO EARTHQUAKES	付 2-1
付録3. インドネシア国スマトラ島ブルクルー地震による住宅建築物の被害概要	付 3-1
付録4. 各国耐震設計基準の比較	付 4-1
付 4.1 概要	付 4-1
付 4.2 設計法および材料強度	付 4-2
付 4.3 設計用水平力算定式	付 4-3
付 4.4 モデル建物による設計用水平力の試算	付 4-5
付 4.5 補足	付 4-6
付 4.6 モデル建物によるベースシア係数算定方法	付 4-7

第1章 はじめに

1.1 調査目的

地震災害時の被災建築物応急危険度判定（以下、応急危険度判定という）は、1995年の阪神淡路大震災で大規模に行われたが、日本主導の比較的新しい技術である。

本技術は、余震等による2次災害の防止を目的とし、被災直後に建築物がどの程度被害を受けているかを判定することにより、被災住民の被災住宅への帰宅可能性を判断し被災建築物への立入を禁止する等の対応措置を講ずるものである。また、この判定をもとに、仮設住宅の必要数の把握、復旧・復興計画の策定等を行うことは、被災者の生活の安定にも不可欠のものである。

しかしながら、この技術は、米国などを除いて整備されておらず、平成11年のトルコ地震、台湾地震の際に、我国の緊急援助、技術支援の柱の1つとして、大いに活用されたところである。さらに、各国からの問い合わせも増加している。

この応急危険度判定は、建築物の構造方法、適用されている建築関係法規、建設工事の質、使用の状況等に大きく左右される。このため、どの国にも適用する汎用的基準づくりは困難であり、本調査では、各国で普遍的に見られる中層の鉄筋コンクリート（RC）構造を対象として、現地の状況を踏まえた判定技術を移転するための指針策定を行う。さらに、判定実施体制の整備にあたっての共通的なポイントを提供することを目的としている。

1.2 調査の進め方

本調査の実施にあたっては、被災建築物応急危険度判定技術移転指針委員会を設置して検討を行った。通算で4回の委員会を開催して、指針本文の構成、執筆内容の検討を行い、報告書をまとめた。

応急危険度判定が整備されている日本・米国などの応急危険度判定を紹介するため、主に文献により具体的な判定法と実施体制の調査を行った。また、過去の地震被害の特徴を把握するため、各国の地震被害調査報告書等の資料収集を行い、地震被害の特徴から応急危険度判定を適用する際の留意点の検討を行った。特に過去に日本の技術支援を受けたトルコ・台湾については、日本の技術を他の国々に適用する際の例として、応急危険度判定を行った際に留意した点や日本から助言や技術支援を受けた点の調査を行った。

さらに、以上の調査によりまとめられた報告書の各国への適用性を確認するため、被害調査などで現地に派遣された学識経験者や、実際に現地で本指針を使用するJICA派遣専門官に対して意見を聞き、それらの意見を報告書に反映させた。

本報告書は、以上の調査・検討により、応急危険度判定技術指針策定調査報告書としてまとめられたものである。

第2章 応急危険度判定の歴史・役割

2.1 概要

建築物が地震を受けた場合には、無被害から崩壊まで、いろいろなレベルの被害が生じる可能性がある。地震被害を受けた建築物を地震後においても継続して使用してよいかどうかの判断は、人心の安定や生活の継続性を図る上で重要である。この判断に使用される建築物の危険度評価（日本では、応急危険度判定といわれている。以下、応急危険度判定という）は、日本、米国、ヨーロッパでも提案されている。しかし、その目的は同じでも判定を実施する時期、判定にかける時間、判定者の能力等で考え方が微妙に異なっている。以下では、応急危険度判定の歴史、震後対策での応急危険度判定の位置付け、鉄筋コンクリート造建築物に対する日米欧の応急危険度判定の比較を行う。

2.2 応急危険度判定の歴史

応急危険度判定の開発および適用の歴史を表 2.2.1 に示す^{2.1)}。

日本の応急危険度判定は建設省総合技術開発プロジェクト「震後建築物の復旧技術の開発」において、応急危険度判定法および恒久被災度判定法が 1985 年に開発され、これらは日本から派遣された JICA 専門家チームによりメキシコ地震被害に適用された。その後、この技術が実際の災害時に活用できるように、日本建築防災協会に検討委員会（委員長梅村魁東大名誉教授）を設け、使い易い「普及版」として「震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針」にまとめなおされ、その中の一部として「応急危険度判定」の基準が示された。また応急危険度判定の体制は静岡県、神奈川県で講習を実施し、判定士の登録が始まったが、全国的に普及するにはいたらなかった。応急危険度判定の体制が全国的に作られ始めたのは 1995 年の兵庫県南部地震以後である。兵庫県南部地震では、全国からの協力を得て、応急危険度判定が実施された。その後、応急危険度判定士の育成等、体制作りが全国的に実施された。その後の地震被害（1985 年新潟の地震、1997 年鹿児島北薩地震）においても応急危険度判定が実施されている。これらの地震において応急危険度判定の重要性が確認され、1998 年、「被災度判定基準・復旧技術指針」の一部であった応急危険度判定を独立させ、「被災建築物応急危険度判定マニュアル」^{2.2)}としてまとめなおされている。

米国では、1985 年のメキシコ地震の後、Applied Technology Council (ATC)において応急危険度判定の開発が開始され、「Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Building (ATC20)」^{2.3)}としてまとめられた。この手法は米国（1989 年ロマ・プリエータ地震、1994 年ノースリッジ地震）のみでなく、南米（1988 年アルメニア地震）でも利用されている。

ヨーロッパにおいては、1998 年に European Seismological Commission から「European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)」⁴⁾が報告され、その中で建築物の被災度区分が提示されている。

表 2.2.1 応急危険度判定の開発および適用の歴史 (文献 2.1) を参考に加筆)

1980	応急危険度判定の試行	イタリア	イタリア南部地震
1981	総プロ「震後建築物の復旧技術の開発」	日本	
1983	浪岡病院の復旧	日本	日本海中部地震
1985	応急危険度判定・被災度区分判定の原案	日本	
	上記原案のメキシコ地震への適用	メキシコ	メキシコ地震
	応急危険度判定の開発開始	米国	ATC
1987	応急危険度判定の試行	米国	ウィティア・ナロウ地震
1989	応急危険度判定基準(ATC20)	米国	ATC
	応急危険度判定の適用	米国	ロマ・プリエータ地震
1991	被災度判定基準・復旧技術指針	日本	日本建築防災協会
1992	応急危険度判定士制度の発足	日本	静岡県・神奈川県
	自己判定シートの作成	日本	静岡県
1994	応急危険度判定の実施	米国	ノースリッジ地震
1995	応急危険度判定の実施	日本	兵庫県南部地震、新潟地震
	応急危険度判定士の全国的な講習会	日本	
1997	応急危険度判定の実施	日本	鹿児島北薩地震
1998	応急危険度判定マニュアル	日本	日本建築防災協会
	European Macroseismic Scale 1998(EMS-98)	ヨーロッパ	
1999	トルコ地震、台湾地震	トルコ・台湾	
2001	応急危険度判定の実施	日本	鳥取県西部地震
2002	応急危険度判定の実施	日本	芸予地震

2.3 応急危険度判定の役割

地震被害を受けた建築物に必要な対策の流れを図 2.3.1 に示す。対策としては、本震により被災建築物が、その後の余震により被害が進行し人命が危険にさらされないようにする応急的な対策（応急危険度判定、応急復旧）と建築物の継続使用を目的とした対策（被災度区分判定、恒久復旧）がある。

応急危険度判定は、地震被害の規模にもよるが、その緊急性から地震直後から 1 週間以内に実施することになる。しかしながら余震に対する応急危険度判定、恒久使用に対する被災度区分判定、さらには既存建築物の耐震診断は、ほぼ同様な技術の上に成り立っており、時として混同される可能性がある。被災度区分判定および耐震診断では大地震を想定するが、応急危険度判定では、建築物が本来持っていた耐震性能が被害をあたえた本震によりどの程度低下したかを推定し、本震よりは小さい余震に対しての危険性を判定することになる。そのため本震より大きな別の地震が被災建築物に作用した時の安全性の判定を行っているものではない。これは応急危険度判定の限界とも言える。

また、応急危険度判定精度と判定時間は、判定士の技術レベル、判定項目（調査内容）に関係しており、地震直後の短い時間に危険建築物を見つけ出す応急危険度判定と地震後2～3週間の間に問題のない建築物、注意建築物および危険建築物に（定量的に）判別する応急危険度判定はその手法が異なる。米欧の応急危険度判定は前者を、日本の応急危険度判定は後者を目標としている。

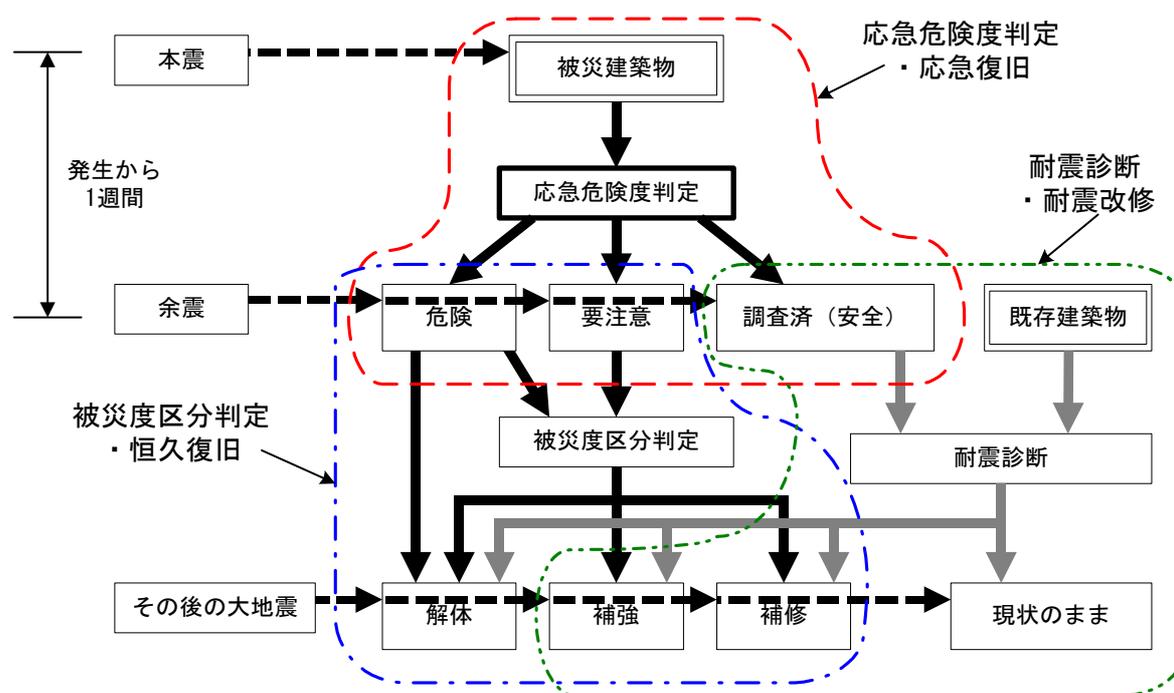


図 2.3.1 建築物への対策の主要な流れ

2.4 日米欧の応急危険度判定（鉄筋コンクリート造建築物）

2.4.1 日本の応急危険度判定

鉄筋コンクリート造建築物に対する日本の応急危険度判定の中心的な部分は、構造部材、特に鉛直部材の損傷度とその割合から判定する部分である。部材の損傷度は、図 2.4.1 に示す耐力と変形の間関係を考慮して、部材に発生したコンクリートのひびわれや破壊、鉄筋の座屈等を観察することによって判定する（表 2.4.1）^{2.2)}。部材（柱）の損傷度ⅣとⅤの部材の割合によって建築物の構造的危険度を判定する（表 2.4.2）^{2.2)}。部材の損傷度をできるだけ多く評価し、全体に対する損傷の割合を出すために、建築物の全体的な調査を行うために損傷を見逃しにくいこと、定量的な評価が可能であり判定士によるばらつきが少ないなどの有利な面がある。しかしながら部材が多い場合には、調査に時間がかかるという欠点もある。

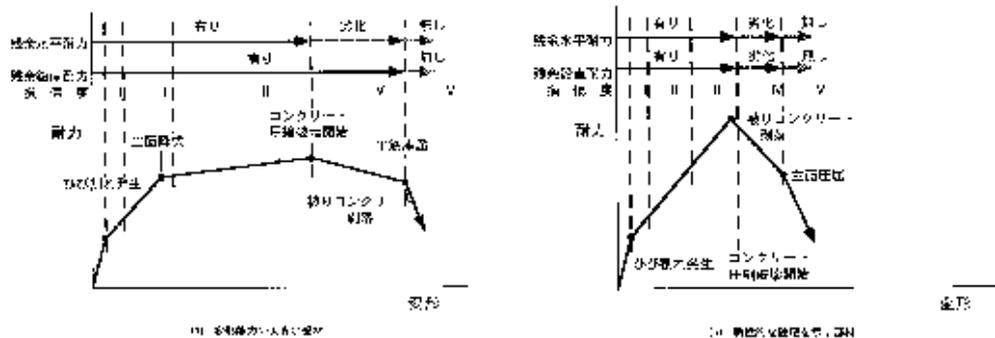


図 2.4.1 部材の耐力変形関係と損傷度^{2.2)}

表 2.4.1 鉄筋コンクリート造部材の損傷度分類^{2.2)}

損傷度分類	
損傷度Ⅲ	比較的大きなひびわれ（ひびわれ2mm程度）が生じているが、コンクリートの剥離は極めてわずかである。
損傷度Ⅳ	大きなひびわれ（ひびわれ2mm以上）が多数発生し、コンクリートの剥離が著しく、鉄筋がかなり露出している。
損傷度Ⅴ	鉄筋の束縛や破断、破断前に沿ってコンクリートのつぶれやずれ、及び柱の高さ方向の変形が生じている。開口部ではシヤシヤ音が聞かれ、床が沈下している。

表 2.4.2 部材（柱）の損傷度割合と建築物構造的危険度^{2.2)}

⑤ 損傷度Ⅴの柱本数／調査柱本数	損傷度Ⅴの柱総数 0 本	調査柱 16 本	(調査率 65%)
	① 1%以下	2. 1%～10%	3. 10%超
⑥ 損傷度Ⅳの柱本数／調査柱本数	損傷度Ⅳの柱総数 2 本	調査柱 16 本	(調査率 65%)
	1. 1%以下	② 10%～20%	3. 20%超
判定②)	1. 調査済	② 要注意	3. 危険
	全部Aランクの場合	Bランクが1の場合	Cランクが1以上又はBランクが2以上

2.4.2 米国の応急危険度判定

米国の応急危険度判定には2段階あり、地震直後に行う「Rapid Evaluation Safety Assessment」と、その後又は平行して行われる「Detailed Evaluation Safety Assessment」がある^{2.3)}。前者は、地震直後において明らかに安全な、又は危険な建築物を判別し、安全と危険の中間的な建築物はその後の後者の判定にゆだねることになっている。

「Rapid Evaluation Safety Assessment」の主要な調査項目を表2.4.3に示す。調査項目は建築物の崩壊、建築物の傾斜、部材の損傷、落下危険物および地盤変状である。判定士としては5年以上の経験をもつ建築技術者（構造技術者、建築家、建築施工者等）が想定されている。判定は主として外観調査によって行う。判定結果は、危険、立入制限、調査済となる。「Detailed Evaluation Safety Assessment」は「Rapid Evaluation Safety

Assessment」で立入制限となった建築物に対して実施される。判定は、5年以上の経験を持ち建築物の地震時挙動に精通している構造技術者が2名以上のチームで行う。調査項目は表 2.4.3 より詳細となるが、最終判断はチームの技術的判断となる。

表 2.4.3 「Rapid Evaluation Safety Assessment」の主要な調査項目

Evaluation	Estimated Building Damage (excluding contents)		
	Minor/None	Moderate	Severe
Investigate the building for the conditions below and check the appropriate column.			
Observed Conditions:			
Collapse, partial collapse, or bulging off foundation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Building or story leaning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Racking damage to walls, other structural damage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chimney, parapet, or other falling hazard	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ground slope movement, or cracking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other (specify) _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comments: _____			

2.4.3 ヨーロッパの応急危険度判定

ヨーロッパには、まだ応急危険度判定手法として確立したものは無いようである。建築物の被害程度を示した表 2.4.4 が「European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)」^{2.4)}にある。被害程度の判断は外観によって行うようである。

表 2.4.4 被害グレード (外観図とコメント) ^{2.4)}

 <p>Grade 1: Negligible or slight damage to structural damage. Slight loss of structural integrity. Falls cracks in decorative plaster, masonry or on walls of facade. Some cracks in gutters and roofs.</p>	 <p>Grade 4: Very heavy damage. Heavy structural damage, very heavy non-structural damage. Large cracks in structural members with compression failure of concrete or failure of steel reinforcement. Collapse of a few columns or of a complete floor.</p>
 <p>Grade 2: Moderate damage. Slight structural damage. Cracks in columns and beams of frame and in walls.</p>	 <p>Grade 5: Destruction. Very heavy structural damage. Collapse of general floor or parapets, or major holding.</p>
 <p>Grade 3: Substantial to heavy damage or moderate structural damage. Heavy non-structural damage. Cracks in columns and beams of frame of the size of a half of column width. Spalling of concrete, buckling of reinforcement, falls of plaster and ceiling panels.</p>	

参考文献

- 2.1) 岡田恒男、「地震直後の応急危険度判定」、Structure No.53、1995.1
- 2.2) (財)日本建築防災協会ほか、「被災建築物応急危険度判定マニュアル」、1998.1
- 2.3) Applied Technology Council、「Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Building (ATC20)」、1989
- 2.4) European Seismological Commission、「European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)」、1998

第3章 各国の応急危険度判定

ここでは、日本・アメリカ・ヨーロッパにおける応急危険度判定を紹介する。

3.1 日本

日本における震災建築物の危険度等の判定基準は、被災度区分判定基準の開発の一環として行われ、その中で余震等による建築物の倒壊や落下物による人的被害を防止するための手段として1991年に応急危険度判定基準が開発された^{3.1)}。

震災復旧は、図3.1.1に示すような3つの段階に分けられるが、地震被害を受けた建築物等に対する被災状況の判定は、①地震直後に実施する余震等に対する建築物の倒壊危険性やその付帯物の落下・転倒危険性を判定し、その結果を表示することにより危険な建築物への接近・立ち入りの可否等を情報提供する「応急危険度判定」、②その後実施する被災建築物の主として構造躯体の被災度を把握することによりその建築物の継続使用のための復旧の可否・要否判定を目的とした「被災度区分判定」の2つの段階に分けられている。本報告書で対象としている①の応急危険度判定では、被災建築物に対して恒久的復旧までの間における建築物の使用にあたっての危険性の判定を行うものとしており、被災建築物の恒久的使用の可否や復旧に向けての構造的な補強の要否の調査判定は、②の被災度区分判定でおこなうものとしている。(付録1. 日本の応急危険度判定紹介パンフレットを参照)

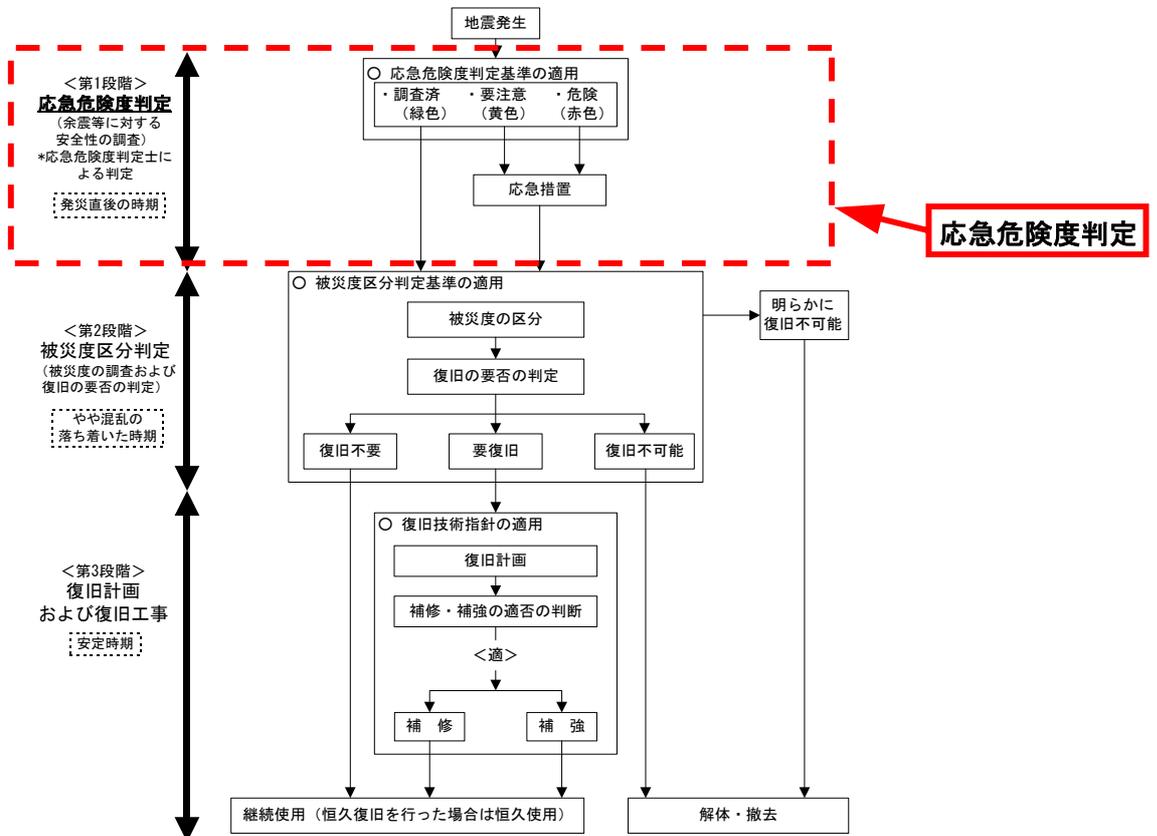


図 3.1.1 震災復旧のフロー^{3.2)}

3.1.1 判定法

応急危険度判定は、建築物の構造躯体等に損傷を与えるような強い地震の直後に、被災した建築物が余震等により倒壊したり、ガラス、外装材、看板等が落下したりすることによる人命の危険性を事前に迅速に判定し、使用禁止や立ち入り制限、あるいは構造躯体の応急補強や落下物除去の必要性の示唆など情報提供を行うことを目的としている。

応急危険度判定のためは、応急危険度判定基準に従って迅速に判定できるように訓練された技術者が、平素から判定士として養成・登録されていることが望ましい。特に、大きな地震で広域に被害が発生している場合は、膨大な被災建築物を迅速に判定する必要性から、多人数の判定士を被災地以外から招集して、応急危険度判定を実施することになる。

応急危険度の判定は、主に外観調査により行われるが、必要に応じて内観調査を行い、被災建物の各部について被災度を調査し、「危険」・「要注意」・「調査済」の3ランクの危険度の判定を行う。被災度とは、建築物および建築物に付帯している物体の地震による破壊または変形の程度をいい、応急危険度判定では、被害の小さい順にA、B、Cの3ランクとしている。また、鉄筋および鉄骨鉄筋コンクリート造における部材または部位の破壊の程度を損傷度（レベルⅠ～Ⅴ）といい、応急危険度判定では柱の損傷度を調査し、損傷度レベルⅢ以上の破壊を被災度の判定に用いる。一例としてRC造の構造躯体の損傷度分類を表3.1.1に、損傷度の例を図3.1.2に示す。

応急危険度判定の調査手順としては、①崩壊・落階しているような被災建築物で「一見して危険」と判定される場合は「危険」と判定し、その被災建築物の調査を終了し、①に該当しない被災建築物については、②「余震等による建築物の崩壊による危険度」と、③「建築物の部材等の落下や転倒による危険度」の2つの観点から調査を行うこととなる。②の調査項目は構造により異なるが、主に不同沈下、傾斜、柱の損傷度等である。

表 3.1.1 RC 造構造躯体の損傷度分類

損傷度Ⅰ	近寄らないと見えにくい程度のひび割れ（ひび割れ幅 0.2mm 以下）が生じている。
損傷度Ⅱ	肉眼でははっきりと見える程度のひび割れ（ひび割れ幅 0.2 から 1mm 程度）が生じている。
損傷度Ⅲ	比較的大きなひび割れが生じているが、コンクリートの剥落は、極わずか（ひび割れ幅 1～2mm 程度）である。
損傷度Ⅳ	大きなひび割れ（2mm を超える）が多数生じ、コンクリートの剥落も激しく鉄筋がかなり露出している。
損傷度Ⅴ	鉄筋が座屈し、内部のコンクリートも崩れ落ち、一見して柱（耐力壁）の高さ方向の変形が生じていることがわかる。沈下や傾斜が見られ、鉄筋の破断が生じている場合もある。

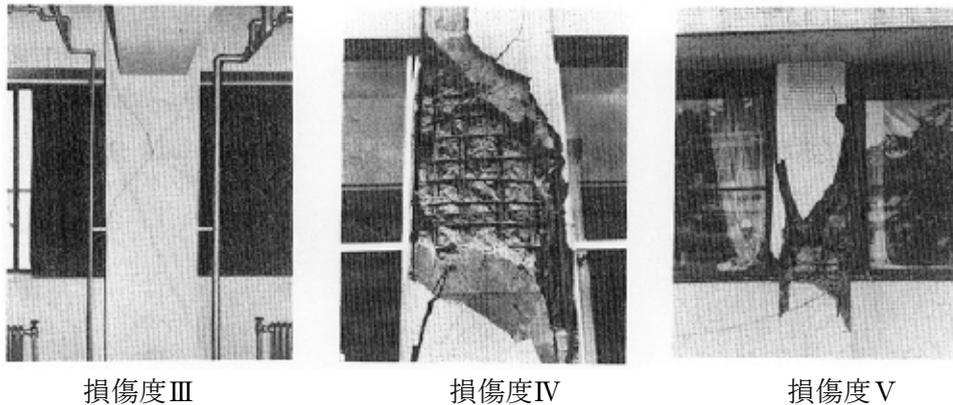


図 3.1.2 損傷度の例^{3.1)}

②建築物に対する危険度の判定では、建築物の傾斜・沈下および建築物の構造躯体に関する調査項目に、C ランクが 1 つ以上あるいは B ランクが 2 つ以上ある場合、「危険」と判定する。また、建築物の傾斜・沈下および建築物の構造躯体に関する調査項目のいずれかに 1 つ以上 B ランクが 2 つ以上ある場合、または建築物の構造躯体に損傷度Ⅲ以上の損傷がある場合、「要注意」と判定する。「危険」または「要注意」に該当しない場合、「調査済」と判定される。

③落下危険物または転倒危険物に対する危険度の判定では、落下あるいは転倒危険物に関する調査項目に、C ランクが 1 つ以上あるいは B ランクが 2 つ以上ある場合、「危険」と判定される。また、落下危険物あるいは転倒危険物に関する調査項目に、B ランクが 1 つ以上ある場合、「要注意」と判定される。「危険」または「要注意」に該当しない場合、「調査済」と判定される。

被災建築物応急危険度の総合判定は、①の段階で「危険」と判定された被災建築物は、その時点で総合判定を「危険」と判定する。②および③の段階に進んだ被災建築物応急危険度の判定では、調査項目ごとに被災度ランク (A、B、C) を判定し、被災度ランクのうち最も危険度の高いランクまたは B の数により②、③の危険度を判定する。総合判定は、②と③の大きい方の危険度により判定する。

判定の結果は「総合判定」に基づき、それぞれ「危険 (赤)」、「要注意 (黄)」および「調査済 (緑)」の色の判定ステッカーに、危険であると判定した理由や落下危険物除去の注意書き等の「注記事項」等を記入して、当該被災建築物の外部から目に付きやすい場所に貼り付け、使用者や周辺を通行する人等に立ち入り危険性等の警告をする。

図 3.1.3 に鉄筋コンクリート造建築物の応急危険度判定の調査表^{3.3)}を示す。

日本の応急危険度判定は、構造部材の中でも特に鉛直部材の損傷度とその割合から建築物全体の危険度を判定する。判定においては、全体に対する損傷の割合を出すために建築物の全体的な調査を行う。したがって、損傷を見逃しにくく、定量的な評価が可能であり判定士によるばらつきが少ない。しかしながら、部材が多い場合には、調査に時間がかかる欠点もある。

3.1.2 実施体制

応急危険度判定は余震による人命被害を防止するために行うことから、地震直後から判定士の召集を開始し、膨大な量の被災建築物を震災後 4～5 日程度までの短期間に判定する必要がある。地震被害の規模にもよるが、判定は 2 人 1 組（1 人が目視で調査し、もう 1 人は記録）で実施する。建築物の条件、被災の状況、判定士の熟達度により異なるが、一般に、木造戸建て住宅で 10～20 分程度、鉄筋コンクリート造の中層ビルで 30～60 分程度の時間を要する。例えば、1995 年の阪神・淡路大震災のときは、応急危険度判定の応援体制が整備されていなかったために、急遽全国各地から集まった建築士等に対して、短時間の講習を行った後判定活動に従事してもらった。その結果、延べ人数約 5,000 人で約 46,600 棟の建築物について判定した。また、2000 年の鳥取県西部地震のときは、既に支援体制の整備がされており、被害の概況から判断して鳥取県内の登録された判定士を召集し、延べ人数約 300 人で約 3,850 棟の建築物について判定した。なお、判定士はボランティアとして判定に協力し、食事、宿泊、移動等の便宜を被災地の公共団体が負担している。

このように、大きな地震被害があった場合は迅速に判定活動を行うことが必要であり、平素から次のように体制を整備しておかなければ、緊急時に対応できない。

- 1) 地震直後に、応急危険度判定活動実施の要否について判断する責任体制の整備
- 2) 1) の判断を下すために必要な被災状況を把握する調査・連絡体制の整備
- 3) 応急危険度判定を適切に実施するための判定基準の整備
- 4) 官民の建築技術者（建築士等）を教育し、判定士として養成する体制の整備
- 5) 4) で養成した判定士を登録し、緊急時に召集の連絡ができるように登録名簿を管理し、連絡を容易とさせる体制の整備
- 6) 緊急時に、円滑に召集の連絡ができるようにするための連絡訓練の実施
- 7) 召集された判定士が判定基準による適切な判定ができるようにするための、判定訓練の実施
- 8) 必要な資機材（判定ステッカー、判定調査表、下げ振り、クラックスケール等）の備蓄
- 9) 判定活動に伴う死亡・傷害、施設損壊等の補償制度の整備

被災建築物が多い場合には、地域を超えて判定士の派遣の応援を受け、さらに被害建築物が多い場合は全国各地から判定士派遣の応援を必要とする。従って、広域的な派遣応援体制のために、上記 1) から 7) に加えて次のような支援体制を整備しなければならない。

- 1) 被災状況の程度により、被災市町村の実施本部⇒被災県の支援本部⇒ブロック内の他県の支援本部⇒他ブロックの支援本部 といった段階で必要な広域支援ができるように、ブロック単位、県単位、市町村単位の支援体制の整備
- 2) 県単位で養成・登録した判定士の相互認証制度の整備

- 3) 他県から派遣された支援本部・判定士に対する経費負担ガイドラインの整備（原則として支援を要請する県等が交通費、宿泊費、食料費を負担または提供、ただし、居住地から集合場所までは判定士の負担）
- 4) 以上を集大成した業務マニュアル等^{3.4)}の整備

このような実施体制の整備の実例として、日本では次のような経過を踏まえ、体制等の整備を行ってきた。

- 1) 応急危険度判定基準を 1991 年に開発^{3.1)}（1998 年に改訂^{3.3)}）
- 2) 静岡県・神奈川県では 1992 年から応急危険度判定基準等の講習をし、判定士として登録
- 3) 1995 年の阪神・淡路大震災で、全国から建築技術者を約延べ 5 千人招集し、約 5 万棟の応急危険度判定を実施
- 4) 阪神・淡路大震災の経験・反省を踏まえ、全国被災建築物応急危険度判定協議会を設置（国、県、建築関連団体等で構成）
- 5) 全国協議会に対応して各県ごとに協議会を設置し、全県で判定士の養成・登録
- 6) 現在全国で約 10 万人の判定士を登録
- 7) 判定業務、広域支援本部、補償制度等の要綱、規定、マニュアル等の整備完了
- 8) 震災時に判定活動実施直前特訓用の判定マニュアルのビデオを作成
- 9) 全国連絡訓練を毎年実施し、各地で判定訓練等を適時実施

また、日本では判定士の資格・技量として、建築士（一級、二級）程度以上の専門知識を持った建築技術者となっているが、日本の場合、建築士に意匠・構造の区別がないため、建築士を判定士の備えるべき資格としている。しかしながら、諸外国では **Architect** と **Engineer** に分かれている場合が多いことから、途上国において判定を行う技術者の資格・技量としては、**Structural Engineer** が適当であると考えられ、**Architect** を含める場合は、建築構造に精通していることが条件になると考えられる。

さらに、日本では、上述の専門知識を持った建築技術者に対し、各都道府県が各種構造に関する応急危険度判定手法についての講習会を 1 日開催し、講習を受けた技術者を各都道府県の応急危険度判定士に登録することになる。また、登録後、判定士に対して、各都道府県で合同あるいは単独で実施訓練等を行っている。

3.2 アメリカ

アメリカにおける地震後の建築物の安全性評価には、ATC-20^{3,5)}の指針が一般に用いられている。地震後の建築物の安全性評価は、「Rapid Evaluation」、「Detailed Evaluation」、「Engineering Evaluation」の3段階に分けられており、第1段階の「Rapid Evaluation」および第2段階の「Detailed Evaluation」が応急危険度判定にあたる。ここでは、ATC-20より、アメリカにおける応急危険度判定(第1段階と第2段階)について紹介する。(図3.2.1)

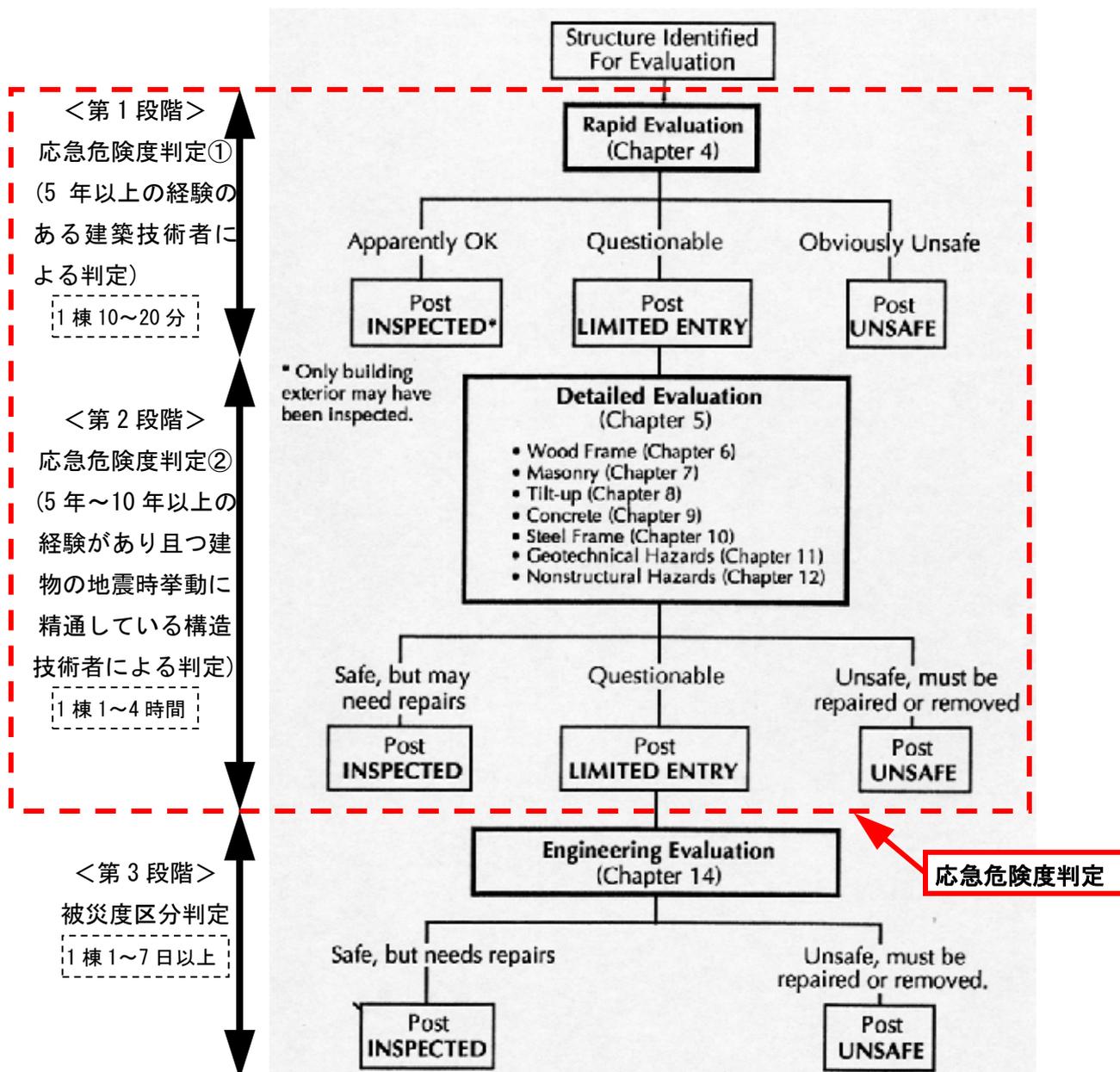


図3.2.1 建築物安全性評価および判定のフロー^{3,5)}

3.2.1 判定法

アメリカにおける応急危険度判定は2段階ある。第1段階の「Rapid Evaluation」では地震直後に明らかに安全な、または危険な建築物を判別し、その中で安全と危険の中間的な建築物は、第2段階の「Detailed Evaluation」において再調査される。

「Rapid Evaluation」では、迅速に安全性の評価を行うことが求められ、建築物が明らかに安全か危険かどうかを判別し、「Detailed Evaluation」による再調査が必要かどうかを判断することが目的である。建築物に明らかに安全性に関わる損傷や危険がない場合、「調査済(INSPECTED)」、建物の安全性は疑わしくさらに再調査が必要な場合、「立入制限(LIMITED ENTRY)」、建物に崩壊の危険や隣接建物の崩壊による危険がある場合、地盤の危険がある場合、また構造的には安全であるが有毒物質の流出やガス管の損傷がある場合、「危険(UNSAFE)」と判定される。被災程度は表 3.2.1 に示す調査項目に従って判別する。

調査手順を以下に示す。

- 1) 建築物全体を外部から調査する。
- 2) 地割れや地面のふくらみ等がある周辺を調査する。
- 3) 構造が外側からは見ることができない場合や非構造部材の損傷が疑われる場合は内部調査を行う。ただし、明らかに危険な建築物には入らない。
- 4) 表 3.2.1 の調査項目に従い建築物の評価を行い、評価表に記入する。各調査項目において危険と判定される被害例を図 3.2.2 から図 3.2.7 に示す。
- 5) 評価結果に従って緑・黄・赤（調査済・立入制限・危険）のステッカーを貼り、外部調査のみまたは外部・内部両方調査済みかを示す。
- 6) 立入制限または危険の意味を所有者に説明し、早急に退去することを勧告する。危険と判定された場所では避難させなければならない。

表 3.2.1 調査項目

Criteria
1. 建物の崩壊，部分的な崩壊，基礎の移動
2. 建物全体またはある階の明らかな傾斜
3. 主構造部材の深刻な損傷，壁の欠損
4. パラペット，煙突，その他の落下の危険
5. 大きな地割れ，地面の移動
6. その他の危険（例：有毒物質の流出，アスベスト汚染，ガス管の損傷，電線の落下）

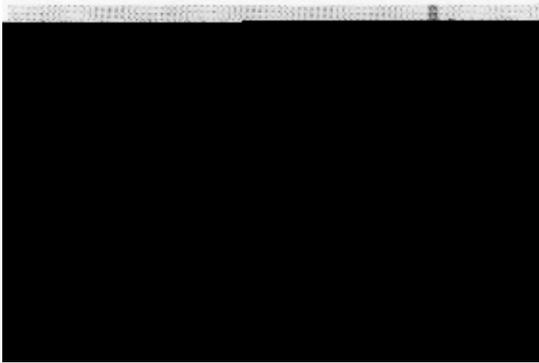


図 3.2.2 Criterion1 (Unsafe)



図 3.2.3 Criterion2 (Unsafe)

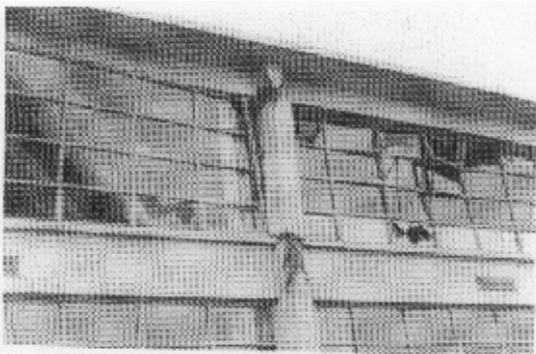


図 3.2.4 Criterion3 (Unsafe)



図 3.2.5 Criterion4 (Unsafe or Area Unsafe)



図 3.2.6 Criterion5 (Unsafe)

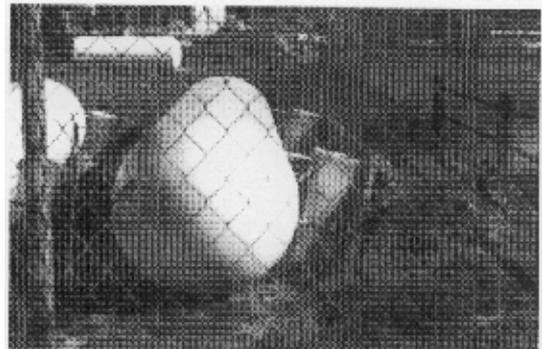


図 3.2.7 Criterion6 (Area Unsafe)

「Detailed Evaluation」では、「Rapid Evaluation」において「立入制限(LIMITED ENTRY)」と判定された建築物に対して、あるいは同時進行で、「Rapid Evaluation」よりも経験を積んだ構造技術者が安全性の評価を行う。中間的被害を受けた建築物が構造崩壊の可能性あるいは落下物の危険性があるかどうかを判断する。評価の基本的な仮定は、安全とみなされる建築物は、崩壊や落下物の危険性がない初期の損傷を受けたときと同等の余震に対しては少なくとも耐えうる性能があるとみなされることである。安全とみなされ

る建築物は鉛直荷重抵抗型と水平荷重抵抗型の両方が機能しなければならない。それを確認するためには天井や壁その他外装材をはがして構造システムを直接調査したり、あるいは破壊につながる層間変形が起きていないことを確認するために石膏プラスターボードなどの被覆材料を注意深く調査したりする。深刻な構造部材の損傷が疑われる場合は「Detailed Evaluation」の調査を用いるほうが良い。被災程度は以下の調査項目に従って判別する。

1) 全体的な損傷

- ・ 崩壊あるいは部分的な崩壊
- ・ 建物あるいはある階の顕著な傾斜
- ・ 基礎の破損

2) 鉛直荷重系

- ・ 柱の顕著な鉛直沈下
- ・ 座屈または柱の破壊
- ・ 壁やその他の鉛直方向支持材から屋根または床フレームの分離
- ・ 危険な耐力壁、柱形のひび割れ
- ・ その他重要な鉛直荷重支持部材または接合部の損傷

3) 水平荷重系

- ・ モーメントフレームの損傷や傾斜
- ・ 耐震壁の顕著なひび割れ
- ・ 垂直ブレースの損傷または座屈
- ・ 妻壁または水平ブレースの破壊や深刻な損傷
- ・ その他重要な水平荷重支持部材または接合部の損傷

4) P- Δ 効果

- ・ 残留変形のある多層建物

5) 構造部材の劣化

- ・ 深刻な構造部材の劣化（特にコンクリートやレンガ造建物）

6) 落下物の危険性

- ・ 落下物の危険性（パラペット、被覆材料、看板等）

7) 斜面や基礎の危険性

- ・ 基礎、壁、床または屋根が破壊した建物の礎石の部分的な引張または不同沈下
- ・ 断層や地すべりの疑いのある地域にある建物
- ・ 斜面の上からの地すべりの破片の落下危険性がある建物

8) その他の危険性

- ・ 危険性のある物質の流出
- ・ その他（停電等）

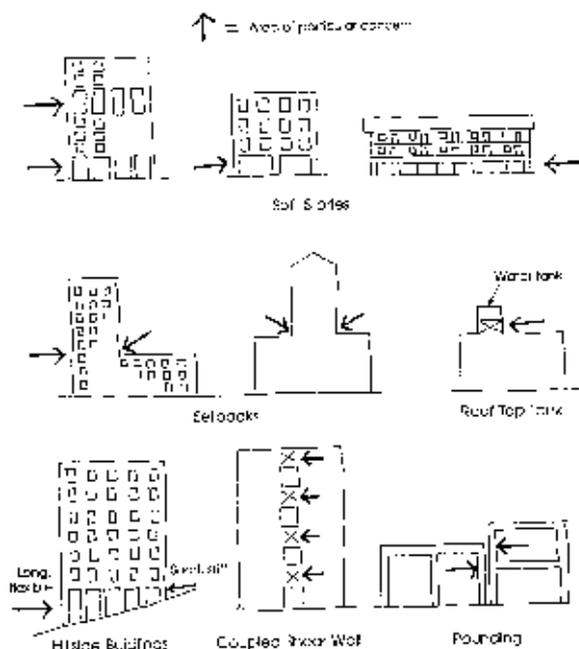


図 3.2.7 鉛直方向の非連続性

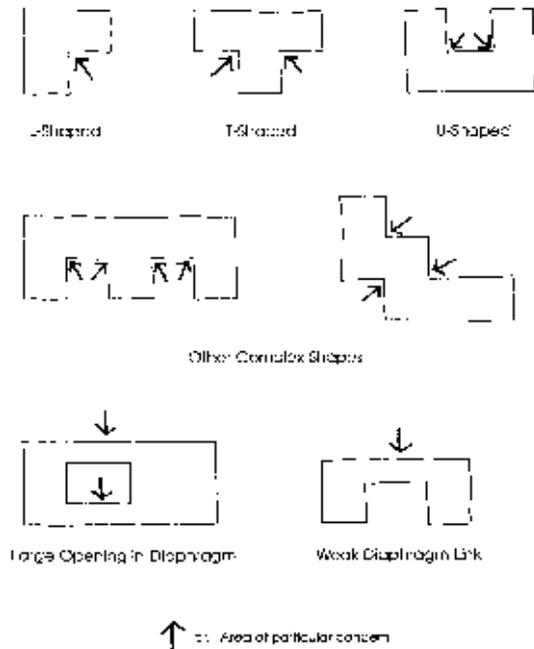


図 3.2.8 平面の不整形な配置

調査手順を以下に示す。

Step1. 建物の外観調査

- 1) 建物の外壁に沿って歩き、観察する。
- 2) 構造システムを推定する。つまり、建築年代は耐震性の重要な指針になり、古い年代の建築物は新しいものよりも損傷を受けやすい。
- 3) 建築物の鉛直方向の非連続性を調査する。(図 3.2.7)
- 4) 建築物の平面の不整形な配置を調査する。(図 3.2.8)
- 5) 過度の層間変形の目安となる外壁や窓枠の破損等を探す。
- 6) 建築物に入る前に、カーテンウォール、パラペット、看板、装飾物等非構造部材の損傷を調査する。
- 7) 建築物の基礎や低い壁の新しい破損を探す。

Step2. 地盤工学的な危険性の調査

- 1) 地割れ、地面のふくらみ、隆起を調査する。
- 2) 丘の斜面では地すべりやその土砂の侵入を調査する。
- 3) 地盤工学的な危険性が疑われる場合、地盤工学の技術者または地質学者のいるチームが「Detailed Evaluation」の調査をする。
- 4) 地盤工学的な危険性がいくつかの建築物が存在する地域に拡大する場合、その地域にある損傷を受けていない建築物も「立入制限(LIMITED ENTRY)」または「危険(UNSAFE)」と判定する。

Step3. 建物の内部から構造システムの調査

- 1) 建築物に入る前に、落下物の危険性や崩壊の危険性を調査し、明らかに危険な建物には侵入しない。
- 2) 建築物に入る。
- 3) 一般に、構造システムは壁、天井その他建築部材によって隠されているため、構造システムを調査するために天井をはがすが、壁の破壊する調査はしない。もし所有者が了承すれば、石膏プラスターの壁やその他建築部材を撤去し調査をする。仕上の撤去を伴う調査は所有者の了承を得なければならない。
- 4) もしその他の場所で構造システムが隠れている場合は、階段の吹抜、基礎、機械室その他構造システムが露出した部分を調査する。
- 5) 鉛直荷重支持材を調査する。柱の破壊、床または屋根フレームの鉛直荷重支持材からの分離、床または梁の破壊を探す。
- 6) 水平荷重支持材を調査する。残存層間変形はいくつかの構造破壊を受けていることを意味する。
- 7) 構造形式別のガイドラインを用いて調査を行う。ただし、それらはガイドラインに過ぎず、所有者や居住者に対し根拠のない苦難を強いることを避け、必要のないリスクにさらすことを避けるために用いられる。
- 8) 露出している基礎システムや土台の部材あるいは部材の破損や傾斜した沈下に対しては最下階を調査する。
- 9) 土台、屋根、ペントハウスを含む全層を調査する。
- 10) 深刻な壁の破壊や窓の損傷が層間変形の大きさを示していることを思い出す。

Step4. 非構造部材の危険性の調査

- 1) 建物内部に入ったら、以下の損傷を調査する。
 - 被覆材料の接合部
 - レンガの間仕切壁
 - 非固定間仕切壁
 - 天井や照明設備
 - 屋上の給水タンク
 - その他
- 2) 非構造部材の深刻な損傷自体では建物全体を危険と判別する必要はない。建物のほかの部分安全であれば、単に（損傷した間仕切壁のある部屋に対して）「危険区域(UNSAFE AREA)」と判別される。

Step5. その他の危険の調査

- 1) エレベーターは調査後再始動させる。
- 2) 化学物質や危険な物質のある部分では流出や漏れを探す。
- 3) 防火設備が損傷していたら建物の使用を制限する。
- 4) 構造上安全な階段や動かないドアや障害物の有無を調査する。

Step6. チェックリストの仕上げ、建築物の判定

- 1) 建築物を評価し、Detailed Evaluation Form を仕上げる。補強等が必要であれば明記する。
- 2) 調査結果に従って建築物を判別する。3つのステッカーのうち1つを貼る。
- 3) 危険や立入制限の意味を建物の所有者に説明し早急に退去することを促す。危険区域と指定された区域もまた避難させる。

3.2.2 実施体制

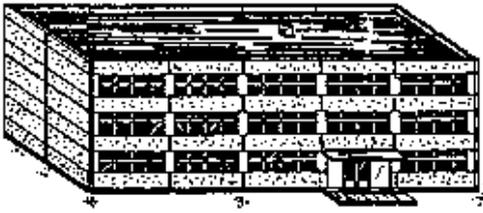
「Rapid Evaluation」は一つの建物に対して10～20分の短い時間内に行われる調査である。また、5～10年以上の経験を持つ建築技術者によって行われ、これにはボランティアの構造技術者や建築家、施工業者、その他設計・建設過程に関わる人々だけではなく調査士が含まれる。調査手順は極めて一般的で、構造技術者の専門知識は必要ではないが、建築構造に精通している人が望まれる。損傷調査士は、構造の損傷や地割れ、落下物の危険などを直ちに把握するため、基本的な建築構造に精通している必要がある。

「Detailed Evaluation」は一つの建物に対して1～4時間かけて行われる調査である。また、5年以上の経験を持ち、且つ建築物の地震時挙動に精通している構造技術者が、2名以上のチームで行う。理想的には構造設計の経験を持ち建築物の地震時の挙動に精通している者が調査を行うべきであるが、大地震直後は経験のある技術者を十分な人数集めることは不可能である。したがって一般には、構造技術者や構造設計の専門的知識を持った技術者が行う。特別な建物、部材等についてはその専門家が調査することが最適である。例えば、躯体や壁に重大なひび割れの入った高層鉄筋コンクリート造建物の調査には高層建物の設計経験のある構造技術者のチームにより調査されることが最適である。同様に、地盤工学的な危険性に対しては地盤工学の技術者や地質学者、エレベーターの安全性の調査に対してはエレベーターの技術者や専門家が当たる。大きな建物一棟あるいは損傷の疑いのある数棟の建物群の調査に対するチームの構成は、全体的な成果を調整し方向付けることから配慮が必要である。

3.3 ヨーロッパ

ヨーロッパでは被災建築物に対する応急危険度判定は確立していない。被災度区分の定義と例を示した EMS-98 (European Macroseismic Scale 1998) ^{3.6)} が開発されている。鉄筋コンクリート造建物に関する被災度判定表を表 3.4.1 に示す。

表 3.4.1 被災度判定表 (鉄筋コンクリート建物の損傷の分類)

	<p>Grade 1: 無視しうる軽微な損傷 (構造部材：損傷なし, 非構造部材：軽微な損傷) フレーム要素を覆う石膏または基礎の壁に細かい亀裂が見られる。間仕切りや内装に細かい亀裂が見られる。</p>
	<p>Grade 2: 中程度の損傷 (構造部材：軽微な損傷, 非構造部材：中程度の損傷) フレームの柱や梁または構造壁に細かい亀裂が見られる。間仕切りや内装に亀裂が見られ、被覆材料や石膏のもろい崩落がある。壁パネルの接合部からモルタルの崩落が見られる。</p>
	<p>Grade 3: かなり重大な損傷 (構造部材：中程度の損傷, 非構造部材：かなり大きな損傷) 柱やフレームの柱・梁接合部の付け根や合わせ壁の接合部に亀裂が見られる。被りコンクリートの剥離や鉄筋の座屈が見られる。間仕切りと充填壁に大きな亀裂が見られ、充填壁単独の損傷が見られる。</p>
	<p>Grade 4: 重大な損傷 (構造部材：重大な損傷, 非構造部材：非常に重大な損傷) コンクリートの圧壊を伴った構造要素の大きな亀裂や、主筋の破断、梁鉄筋の定着の損傷、柱の傾斜が見られる。幾つかの柱や上階床の崩壊が見られる。</p>
	<p>Grade 5: 破壊 (構造部材：非常に重大な損傷) 1階部分や建物の一部分に崩壊が見られる。</p>

参考文献

- 3.1) (財)日本建築防災協会、「震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針(鉄筋コンクリート造編)」、平成3年2月
- 3.2) (財)日本建築防災協会、「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」、2001年9月
- 3.3) (財)日本建築防災協会、全国被災建築物応急危険度判定協議会、「被災建築物応急危険度判定マニュアル」、1998年1月
- 3.4) (財)日本建築防災協会、全国被災建築物応急危険度判定協議会、「被災建築物応急危険度判定必携」、1999年5月
- 3.5) Applied Technology Council、「Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Building (ATC20)」、1989
- 3.6) European Seismological Commission、「European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)」、1998