

◇第8章◇

トルコ共和国における耐震補強奨励制度の検討

8.1	はじめに.....	8.1
8.2	トルコにおける脆弱建物の耐震補強をめぐる環境.....	8-1
8.2.1	生活環境.....	8-1
8.2.2	地震の危険性.....	8-2
8.2.3	建物ストック.....	8-3
8.2.4	建物強度.....	8-6
8.2.5	耐震補強工事の現状.....	8-7
8.2.6	イスタンブール地域のシナリオ地震と想定被害.....	8-8
8.2.5	現行の被災者支援制度.....	8-9
8.3	耐震補強奨励制度の導入効果の分析手法.....	8-10
8.3.1	耐震補強奨励制度に基づく行政・住民側の費用負担モデル.....	8-11
8.3.2	補強前後の建物強度.....	8-12
8.3.3	費用負担の算出に用いたデータ.....	8-13
8.4	耐震補強奨励制度の導入効果の分析結果.....	8-13
8.4.1	現状システム踏襲型での制度導入による効果.....	8-13
8.4.2	耐震補強技術開発を加味した現状システム踏襲型での制度導入による効果.....	8-15
8.4.3	理想のシステム型での制度導入による効果.....	8-15
8.5	まとめ.....	8-16
	参考文献.....	8-18

8.1 はじめに

脆弱建物への耐震補強の実施は、地震時の建物被害と人的被害を軽減するための根本的な対策である。加えてその効果は、救命救急活動、瓦礫撤去、応急・恒久住宅などの住宅再建や生活再建に要する費用の低減と多岐に渡るため、事前の耐震補強の普及は地震防災上最も重要な対策と言える。特に、中東・西アジア・中南米などを代表として、耐震性能の低い組積造構造物が建築ストックに占める割合の大きい国々では、大地震時には膨大な建物被害と人的被害が発生するため、その重要性は更に高いと言える。耐震補強をいかに推進させるかという問題は世界共通の課題となっている。

わが国では、兵庫県南部地震を契機として既存不適格建物の危険性が再認識され、その後、様々な耐震補強促進策が実施されてきた。これらの知見は、共通の課題を抱える諸外国においても、有用であると考えられる。しかし、木造建物が建築ストックの大部分を占める日本とは異なる建物ストックを有する国々も多く、情報発信にあたっては、わが国における制度/システムを当該国の実情に合わせて修正した上で、最適な制度/システムを模索する必要がある。本研究では、社会・技術・制度の異なる国々において、建物ストックの耐震性能の問題点および耐震性能の確保が進まない理由を明らかにし、耐震補強を促進するための制度設計を行う。ここでは、ケーススタディとしてトルコ共和国イスタンブール地域を取り上げるが、日本だけでなく諸外国を比較検討できる「既存不適格構造物の耐震補強促進制度の世界モデル」の構築を最終目標としている。

イスタンブール地域における耐震補強推進のための具体的な制度設計にあたっては、既存の被災者支援制度の修正に加えて、我々の研究グループによる耐震補強保証に基づく工事奨励制度(以下、耐震補強保証制度と呼ぶ)の導入を検討した。本制度は、「事前に耐震補強を行い、『しかるべき耐震補強を済ませた』と判断された建物について、その建物が地震時に被害を受けた場合に、再建費用の一部を行政が負担する」という仕組みを有する。イスタンブール地域においてシナリオ地震が発生した際の、耐震補強保証制度の導入効果を分析するとともに、当該国に適した制度の導入条件を検討した。また、制度/システムと耐震補強の技術開発とのバランスにも着目し、制度設計と技術開発の相乗効果についても検討した。

8.2 トルコにおける脆弱建物の耐震補強をめぐる環境

まず初めに、トルコ共和国と日本における人々の生活環境・地震の危険性・建築環境・社会制度の比較を行い、耐震性能の低い建物の耐震補強をめぐる環境を整理する。諸条件を日本と比較することにより、トルコ共和国において建物の耐震補強が進まない理由を抽出する。地震発生の危険性については、兵庫県南部地震とコジャエリ地震の被害を比較するとともに、トルコ共和国におけるシナリオ地震により想定される被害についても考慮する。

8.2.1 生活環境

表8-1は、総務省統計局の世界の統計(2003)等を用いてトルコ共和国と日本における各種の統計データを整理したものである。トルコ共和国の人口は6,861万人(2001年現在)、面積は77万4,815km²である。面積は日本の約2倍、人口は日本の約半分に近い。両国の主要都市である東京都とイスタンブール市の人口を比較すると、イスタンブール市の面積は東京都の45%、人口密度は8923人/km²で東京都の1.59

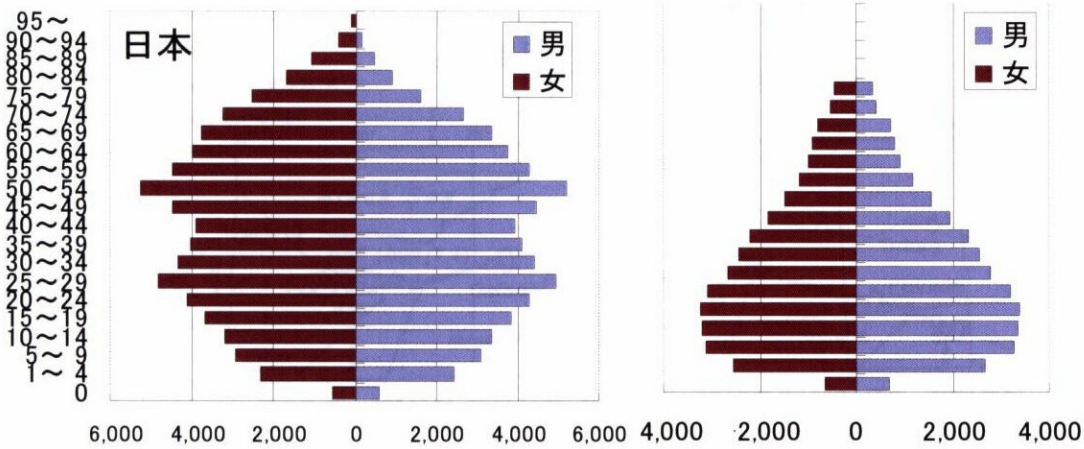


図 8-1 男女年齢 5 歳階級別人口構成

倍となった。全世界においても有数の過密都市と言える。トルコ共和国の1999年の出生率は日本の2.3倍であり、男女年齢5歳階級別人口構成(図8-1)を見ても、若年齢層の人口が多いことがわかる。日本における65歳以上の人口の割合はトルコの3.4倍である。深刻な高齢化問題を抱える日本と比べて、トルコ共和国まだ人口増加傾向をたどっている。平均世帯人員は5人であり、日本の1.85倍である。

トルコ共和国の2000年の国内総生産(GDP)は1,999億USドル、1人当たりのGDPは2,967USドルである。2000年11月、2001年2月の2回の金融危機により、2001年は通貨トルコ・リラが大幅に下落した。卸売物価指数の対前年上昇率は64.9%(1999年)、54.9%(2000年)、54.4%(2001年)であり、インフレ率が高く不安定な経済状況が続いている。失業率は7.3%(1999年)である。経済的な課題に加えて、非識字率の高さ、乳幼児の死亡率の高さなど教育・衛生等の社会的課題も抱えている。

8.2.2 地震の危険性

トルコ共和国北部は世界でも有数の地震頻発地域の一つである。国内には、北アナトリア断層(図8-2)と東アナトリア断層という2つの巨大な断層が存在する。北アナトリア断層は東西に1,000km以上続く断層であり、1939年の地震以降、8つの大地震を引き起こしている。1999年8月17日午前3時1分27秒に発生したコジャエリ地震では、北アナトリア断層の西部分の100-125kmが破壊した。図8-2に示した通り、それまでの地震の震源は、東から西へと進展してきており、コジャエリ地震の震源域は典型的な空白域の一つとして認識されていた。イスタンブール市は、中東における巨大都市の一つであり、北アナトリア断層の西端に位置する。過去の断層の震源が東から西へ移動していることから、今後、イスタンブール地域が新たな巨大地震に襲われるという可能性が指摘されている。文部科学省によるコジャエリ地震調査団の報告(1999)によれば、コジャエリでの最大地震動は、震央から約40km離れたSakaryaで記録され、その大きさは水平加速度が406Gal、鉛直加速度が260Galであった。1999年9月12日の中央危機管理本部による被害状況の発表では、地震による死者は15,466人、負傷者は23,954人であった。被害家屋計は187,685戸であり、そのうち大破・崩壊したものは60,434戸であった(表8-1)。人的被害における死者と負傷者の比に着目すると、兵庫県南部地震では1:7.55であるのに対して、コジャエリ地震では1:1.55となる。コジャエリ地震では人的被害における死者の割合が著しく高いと言える。この理由としては、レンガ造の建物では構成部材が小さいために建物が崩壊した際に生存空

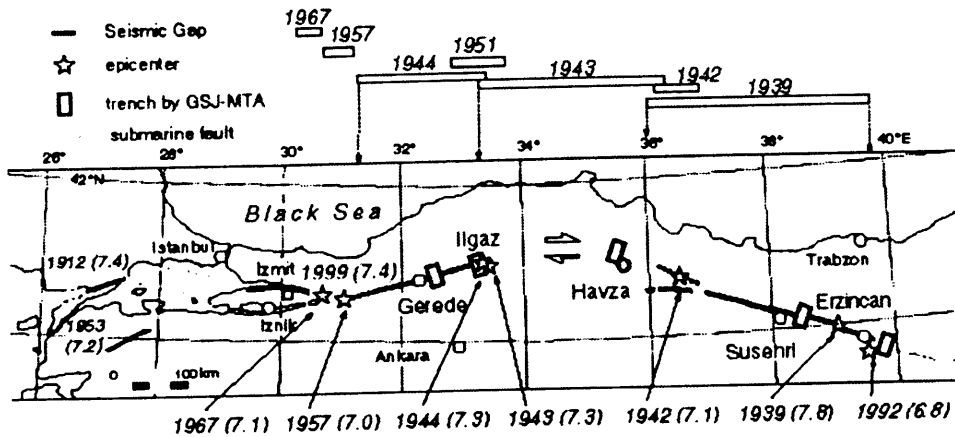


図 8-2 北アナトリア断層沿いの地震

間が著しく小さくなり、甚大な人的被害を引き起こしやすい点、1世帯当たりの人員が多い(表8-1)点などが考えられる。

8.2.3 建物ストック

住宅の新築数における1戸建ての割合を比較すると、日本では47.8%、トルコでは17.3%となる。また、住宅総数における持ち家住宅の割合は、日本で60.3%、トルコで70.5%となる(表8-1)。よって、トルコ共和国では日本と比較して、共同住宅の割合が多く、持ち家住宅の割合もやや多いと言える。また、表8-1において住宅総数と住宅新築数のデータ取得年次は異なるものの、住宅総数に対する住宅新築数の割合を算出すると、トルコ共和国における新築の割合は日本より低くなる。一方、産業別就業者数を見ると、建設業に携わる就業者の割合は、日本で約10%、トルコで5.4%となる。これらより、トルコ共和国の住宅建設業界の規模は日本より小さいと言える。

JICA・IMM(Istanbul Metropolitan Municipality)(2002)によれば、イスタンブール市内には、724,623棟の建物が存在する。表8-3に示すように、RCのフレームの中にレンガを積み上げて建てている住宅(RCフレームレンガ壁住宅)はその75%(543,623棟)、フレームがなくレンガを積み上げただけの構造である組積造住宅は23.2%(168,100棟)である。両者の構造で全建物ストックの約98%を占めている。RCフレームレンガ壁住宅では、全階層のうち4階建て以上が69%を占める。これらの統計からも共同住宅が住まいの主流を成している実情がわかる。共同住宅では、戸建住宅に比べて、耐震補強実施に際して住民間の合意形成が難しくなる。

表 8-1 トルコ共和国と日本の各種統計データ

分野	統計データ			データ取得年次		
	日本	トルコ	単位	日本	トルコ	
人口	面積	377,873	774,815	km ²	1999	1999
	年央推計人口	127,290	68,610	千人	2001	2001
	人口密度	340	83	人/km ²	1999	1999
	主要都市人口					
	都市名	東京都 ⁵⁾	イスタンブール ^{6・7)}		2003	2000
	人口	12,290	8,832	千人		
	面積	2,187	990	km ²		
	人口密度	5,619	8,923	人/km ²		
	出生率	9.5	21.8		2000	1999
	死亡率	7.7	6.8		2000	1999
平均寿命(男女平均)	81.4	69.0	歳	2001	2001	
65歳以上の割合	17.3	5.1	%	2000	1998	
平均世帯人員	2.7	5.0	人	2000	1990	
国民経済計算	国内総生産	4,762,395	199,901	100万USDドル	2000	2000
	1人あたりの総生産	37,549	2,967	USDドル	2000	2000
	国内総生産の実質成長率	-1.1	3.1	%	1998	1998
		0.8	-4.7	%	1999	1999
		1.5	7.2	%	2000	2000
	国民所得	3,510,190	187,741	100万USDドル	2000	2000
	1人あたりの所得	27,675	2,786	USDドル	2000	2000
	国内総生産に対応する購買力平価	167	128,527	円/1USDドル	1998	1998
		162	197,157	トルコリラ/1USDドル	1999	1999
		156	290,424		2000	2000
金融	購買力平価による1人当たり国内総生産	24,474	6,272		1998	1998
		24,934	5,966		1999	1999
		25,968	6,439		2000	2000
	為替相場	131	260,724	円/1USDドル	1998	1998
物価・家計	卸売物価指数 総合指数(1995年=100)	102	1,020		1999	1999
		102	1,580		2000	2000
		101	2,439		2001	2001
	対前年上昇率(%)	-0.3	64.9		1999	1999
		-0.7	54.9		2000	2000
		-0.7	54.4		2001	2001
労働	産業別就業者数					
	総数	64,460	22,049	千人	2000	1999
	建設業	6,530	1,192	千人	2000	1999
教育	失業率	4.7	7.3	%	1999	1999
	非識字率					
	総数		13.9	%	2002	2002
建築環境	男		6	%		
	女		22	%		
	住宅総数	43,922	13,341	千棟	1998	1994
	持ち家住宅率	60.3	70.5	%	1998	1994
	住宅新築数	1,112	232	千棟	2001	1990
	1戸建の割合	47.8	17.3	%	2001	1990
地震被害	共同住宅の割合	52.2	82.7	%	2001	1990
	1戸当たり床面積	93.6	111	m ² /戸	2001	1990
地震被害	死者	兵庫県南部 ⁸⁾	コジャエリ ⁹⁾	人	1995.5	1999.9
	負傷者	5,502	15,466	人	1995.5	1999.9
	建物被害数	41,521	23,954	戸	1997.12	1999.9
	全壊数(トルコは大破・崩壊)	457,885	187,585	戸	1997.12	1999.9
	181,780	60,434	戸			

表 8-2 トルコ共和国における耐震設計基準の変遷

年代	地震発生	トルコ		日本	
		耐震基準	内容	耐震基準	内容
1919				市街地建築物法公布	日本最初の統一基準
1923	関東大地震				
1924				市街地建築物法施行規則の改正	静的耐震設計、地震力規定の新設(水平震度0.1以上)
1934	室戸台風				
1939	エルジンジャン地震				
1944	東南海地震	最初の耐震基準	基本ベースシア係数は、地域Ⅰで0.02~0.04、地域Ⅱで0.01~0.03		
1946	南海地震				
1947				日本建築規格建築3001 制定	長期・短期荷重の別、水平震度0.2
1948	福井地震				
1950				建築基準法 公布	水平震度0.2、高さ16m以上割増、局部震度0.3)
1952				建設省告示第1074号	地盤と構造種別による低減係数、地域係数
1958			再建復興省が設けられ、防災体制の整備が図られた		
1959				第2次改正	木造建築物の必要軸組量の強化、壁倍率表の拡充
1961		基準 改定	地域係数、地盤と構造種別による低減係数の導入 高さ16m以上での層せん断力係数の割増	第3次改正	「特定街区」の新設
1963		ゾーンマップ改定(4区分)		第4次改正	容積率制限制度の導入
1964	新潟地震				
1968	十勝沖地震	基準 改定	3種類の地盤係数が設定され、地盤と建物の動的な関係が考慮された スペクトル係数、重要度係数の導入		
1969			建設省地震研究所設立		
1970				施行令改正 公布	鉄筋コンクリート造のせん断補強強化
1972		ゾーンマップ改定(5区分)			
1975		基準 改定	地盤係数とスペクトル係数が一つにまとめられた 高さ75m以上の建物や重要建物、不整形建物に動的解析を義務付けた		
1977	宮城県沖地震				
1980				施行令改正(新耐震設計基準) 公布	二次設計の規定の新設(保有水平耐力計算の導入等)
1987				基準法改正	木造建築物の規制緩和
1992	エルジンジャン地震				
1996		ゾーンマップ改定			
1998		基準 改定	終局強度設計法への変更 1975年の基準に比べると2倍くらいの地震力を考えることになる	基準法改正	建築確認・検査の民間開放 建築基準の性能規定化等 基準体系の見直し 中間検査の導入
1999	コジャエリ地震 ドゥズジェ地震				

表 8-3 イスタンブール市内の建物ストック

構造	階層	建築年			棟数
		-1959	1960-1969	1970-	
RCフレーム レンガ壁住宅	1-3F	7,120	13,757	200,950	221,827
	4-7F	6,280	15,449	280,231	301,961
	8F-	481	886	18,468	19,835
組積造	1-2F	25,967	24,881	83,215	134,063
	3F-	16,952	8,208	8,877	34,037
木製フレーム	1-2F	4,755	697	1,583	7,035
	3F-	3,611	222	358	4,191
RCせん断壁	1-3F	1	0	13	14
	4-7F	0	0	200	200
	8F-	0	0	564	564
プレハブ		20	12	864	896
総数		65,187	64,112	595,323	724,623

8.2.4 建物強度

表8-2はトルコ共和国における耐震基準の変遷と日本における耐震基準の変遷をまとめたものである。表の作成にあたっては、日本建築学会による地震災害調査報告(1993, 2001)、大橋(1993)および日本建築学会(1987)を参照した。トルコの耐震規定は耐震基準条文とゾーンマップからなる。1939年12月26日に発生したエルジンジャン地震(M7.9)を契機として、1944年に初期の基準ができた。その後、1998年までに、基準およびゾーンマップの改正が何回も行われている。1975年の基準の改正までは許容応力度設計法に基づくが、1998年の基準からは動的な効果を考慮した終局強度設計法に基づく。1998年の新基準は、日本の新耐震設計法と同程度の高い水準のものである¹²⁾。1975年の基準は1998年まで20数年に渡って使用されており、コジャエリ地震で被害を受けたものの多くが、1975-1998年の間に建設された建物であった。1975年の旧基準は十分ではないが一定の耐震性能を有しており、基準の実行度が不十分であった点が問題視されている。建築時には、地域官庁から施工主宛の許可を得る必要がある。この際、建築設計・構造設計および計算・設備電気設計などの全ての建築計画を官庁に提出しなければならない。施工主が雇う構造設計責任者(Engineers of Record)は、官庁により承認された設計図書に適合した施工が実施されるよう監督する責任を有する。構造設計責任者は、基準違反を見つけた場合に官庁に報告しなければならない。基準違反には罰則があるが、その施行は甘い。また、EERI(2002)での指摘によれば、構造設計責任者がどのように建築過程を監督すべきかというガイドラインは法令に掲載されていない。よって、構造設計責任者が建設中に現場に立ち会わず他の建設計画の獲得に奔走していることも多い。建築過程の監督が不十分となる背景には、構造設計責任者への報酬が建設許可取得時に一括支払いになっていることや、構造設計責任者が注文主ではなく建築請負業者に雇われた建築士である等の要因がある。

また、トルコ共和国には旧市街地・計画的な新開発市街地の他、戦後に旧市街地を取り巻いて斜面地などを不法占拠した非認可住宅地域(Gece kondu, 以下ゲジェコンドと呼ぶ)が存在する。1960年代初めまでに形成されたゲジェコンドは、インフラ未整備の未利用地である斜面地を不法に占拠した自己居住用の戸建住宅地であった。1960~1970年代においては、許可なし開発としてのゲジェコンドが台頭し、賃貸住宅や分譲住宅が建設された。1970年代以降にはさらに大規模化した無許可開発が行われた。1966年と1981年に、一定の建築条件を満たす既存のゲジェコンドを適法住宅として認知し、条件

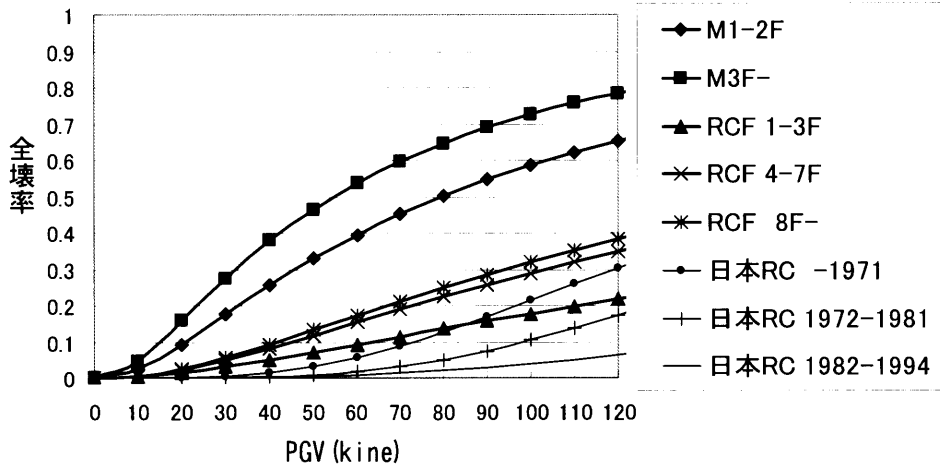


図 8-3 トルコと日本における建物被害関数の比較

を満たさないものを撤去するとの法律が制定された。しかし、依然としてゲジェコンドが横行しており、建築基準を満たさず耐震性能の低い違法なゲジェコンド住宅の存在が危険視されている。

ここで建物被害関数を用いて、トルコ共和国と日本の建物強度の比較を行う。JICA・IMM(2002)は、表8-3に示した構造・階層の異なる11種類の建物群について建物被害関数を提示している。この文献中では被害関数の横軸は応答変位、横軸は全壊率・半壊率・一部損壊率となっている。そこで、各々の建物群の固有周期・降伏変位・降伏加速度・スペクトル倍率及びシナリオ地震(図8-4)におけるイスタンブール地域のPGA-PGVの関係式を用いて、横軸を応答変位からPGVに変換した。我が国の建物については、村尾・山崎(2000)が兵庫県南部地震における灘区の被害データを用いて作成した被害関数を参照する。図8-3に両国での全壊率関数を比較する。組積造住宅3階建て以上、組積造住宅1-2階建て、RCフレームレンガ壁住宅8階建て以上、4-7階建て以上、1-3階建て以上の順に耐震性能が低いことがわかる。また、日本における1972年以降のRC建物は、トルコ共和国の組積造住宅、RCフレームレンガ壁住宅よりも耐震性能が高い。

8.2.5 耐震補強工事の現状

EERI(2002)によれば、トルコにおける現行の主な耐震補強は、レンガ壁をコンクリートせん断壁に変えることにより、水平荷重への耐力を向上する構法である。その他、控え壁の配置、柱の被覆、ブレースや外付けフレームの付加などの技術がある。また近年、組積造住宅の新しい耐震補強構法として、パオラ・目黒(2003)により梱包用PPバンドのメッシュを用いた耐震補強構法が提案されている。材料の低価格さと手に入りやすさから、低価格な補強構法として今後期待される。

トルコ共和国の専門家を対象とした著者らのヒアリング調査より得られた住宅の構造部分・設備部分の建設費用および耐震補強費用の平均額を表8-4に示す。RCフレームレンガ壁住宅であれば、床面積1㎡当たりの費用は、構造部分の建設費用が80USドルであり、耐震補強費用が60USドルである。また、組積造住宅では、床面積1㎡当たりの構造部分の建設費用が40USドルであり、耐震補強費用が30USドルである。これより、トルコにおける耐震補強費用は、構造部分の新規建築費用の3/4程度にのぼると言える。建築行政研究会(1996)によればわが国の場合、木造では構造部分の新築費用が約15万円/㎡、耐震補強費用が1~2万円/㎡である。また非木造の場合は、構造部分の新築費用が約30万円/㎡、耐震補

強費用が4万円/m²である(表8-4)。これより、日本における耐震補強費用は木造で新規の構造建築費用の1/15, RCで1/8程度と言える。日本の現状と比較して、トルコ共和国では構造部分の新規建設費用に対して耐震補強費用が著しく高いことがわかる。このような補強実施費用の高さは、補強意欲を減少させるものであり、補強技術の向上によるコストの減少が望まれる。

8.2.6 イスタンブール地域のシナリオ地震と想定被害

JICA・IMM(2002)では、イスタンブール市におけるシナリオ地震による被害想定を行っている。その中では4つの断層モデルを想定しているが、そのうち最も発生の可能性が高いものとして、図8-4に太線で示した断層モデルを提示している。これは、1999年のコジャエリ地震による断層の西側からSilivliまでの120キロのセクションを断層としたもので、断層長が119kmの横ずれ断層である。モーメントマグニチュード(Mw)は7.5とされている。図8-4の着色部分がイスタンブール市であるが、この地域において想定されている地表最大速度(PGV)を図8-5に示す(飛び地を除く)。地震動の推定はCampbellの手法による。RCフレームレンガ壁住宅と組積造住宅の棟数を、所在地の想定地震動と階層別に整理すると図8-6となる。PGVが20~80kine(cm/s)の地域に建物が多く存在し、とりわけ20~40kine(cm/s)の地域に54%の建物が集中する。JICA・IMM(2002)によれば図8-4の断層モデルによる建物被害は、総建物724,623棟のうち、全壊が51,477棟、半壊が113,535棟、一部損壊が252,370棟と推定されている。

表 8-4 新規建物建設費用と耐震補強費用の比較

		構造部分	設備部分	総費用	
トルコ (US\$/m ²)	RCフレーム レンガ壁	建設費用	80	120	200
		補強費用	60		
	組積造住宅	建設費用	40	60	100
		補強費用	30		
日本 (万円/m ²)	木造	建設費用	15		
		補強費用	1~2		
	非木造	建設費用	30		
		補強費用	4		

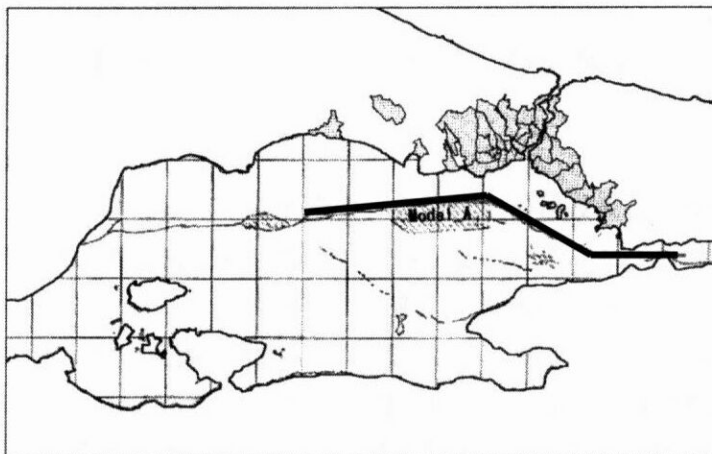


図 8-4 シナリオ地震の断層モデル

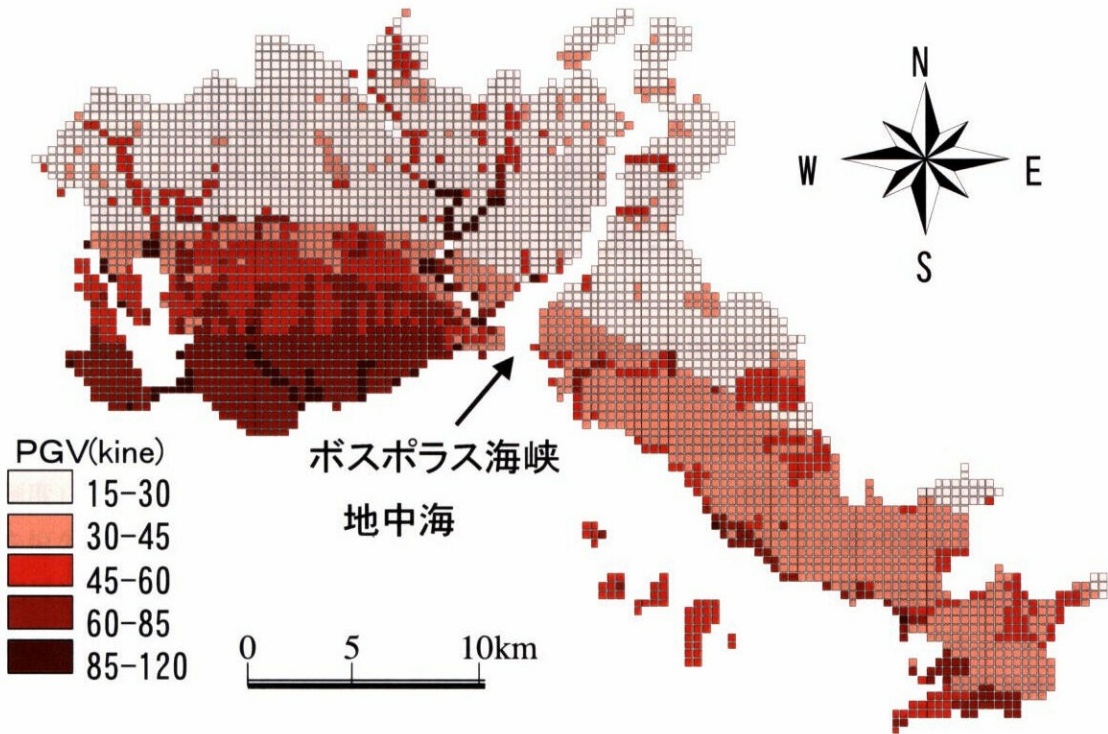


図 8-5 イスタンブール市内の想定地表最大速度

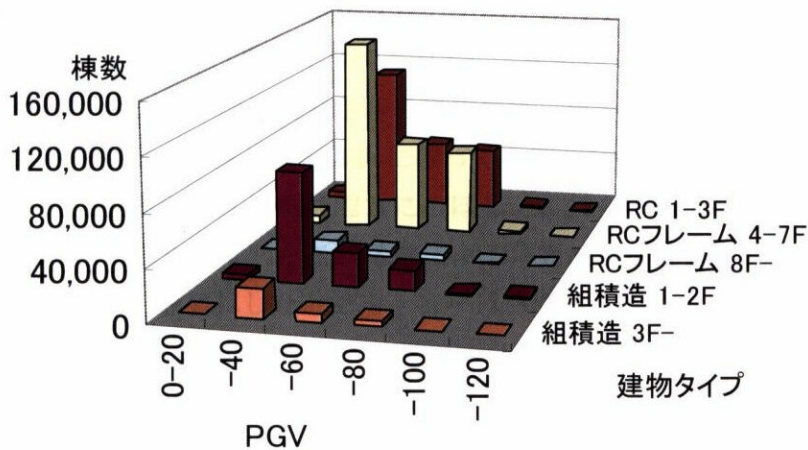


図 8-6 想定地震動・建物タイプ別の棟数

8.2.7 現行の被災者支援制度

トルコでは地震後の応急復旧期には、テント設営、仮設住宅の建設及び瓦礫処理が行われる。1999年のコジャエリ地震の際に被災者支援に要した資金について、ヒアリングを行った。仮設住宅を建設するのに要した地代、建物建設費用、インフラ等の設備費用は表8-5の通りである。総費用を仮設住宅戸数で割って仮設住宅1戸あたりの費用を算出したところ、4,717USドルとなった。外務省によれば、仮設住宅建設数の約30%は日本を含む海外からの支援によるという。日本政府は、トルコ共和国政府の要請に基づき、兵庫県より阪神淡路大震災の被災者が使用していた仮設住宅約1900戸の無償提供を受けて、トルコ政府に提供した。これらの仮設住宅の建設に際しては、トルコ人技術者に対する建設指導が行われた他、仮設住宅の輸送費充当のため140万USドルが緊急無償援助された。また、建物解体

表 8-5 仮設住宅建設費用

建設に関わる費用(US\$)	地代	4,309,279
	建設費用	75,803,838
	設備費用	127,955,165
	総費用	208,068,282
仮設住宅戸数		44,107
1戸あたりの費用(US\$)		4,717

表 8-6 建物解体費用

解体戸数	60,503
解体総費用(US\$)	70,375,340
1戸あたりの解体費用(US\$)	1,163

費用の総額を解体建物棟数で割って1戸あたりの建物解体費用を算出したところ、表8-6に示したように1,163USドルとなった。

復旧復興期には、地震被災者を支援する目的で、災害法(1959年)による「地震による被災建物の国家補償制度」に基づき、全壊した持ち家住宅の所有者に対して、恒久住宅が現物支給される(以下、この制度を恒久住宅供与制度と呼ぶ)。住宅建設は、郊外の丘陵地における新市街地開発として行われる。恒久住宅は1戸あたり床面積100㎡であり、コジャエリ地震の前までは無償で提供されていた。しかしこの地震の際には被害が膨大であったことから、それが有償となった。著者らのヒアリングによると、コジャエリ地震の際には、行政側による恒久住宅の建設には1戸当たり総計42,000USドル(土地造成とインフラ整備・建設費用等を含む)を要した。これが1戸当たり12,000 USドルにて住民に供給され、住民は購入費用に対する極めて低利の融資(20年間での返済義務、最初の2年間は返済なし)を利用することができた。インフレ率の高いトルコ経済の下では、このような低利子の融資はほとんど供与に近いと言える。恒久住宅供与制度は、過度の被災者支援の主因となっていると同時に、市民が自分の建物の耐震補強を実施するインセンティブをなくさせる力として作用している点が大きな問題点である。

SAPI(2002)による前節でのシナリオ地震発生時の建物被害、電力施設への被害及び産業への経済被害の試算によると、被害総額はイスタンブール県に限っても約304億USドルとなる。この額はトルコ共和国の2000年GDPである1,999億USドルの約15.2%にのぼる。これらの経済被害に加えて、行政は被災者支援に対する支出を行わねばならない。この地震による建物被害推計値を元に、仮設住宅、瓦礫処理、恒久住宅建設に要する費用を概算したところ、各々12.8億USドル、3.2億USドル、56.8億USドルとなった。これらの合計額は72.8億USドルとなり、GDPの約3.6%に相当する。費用算出においては、全壊建物の所有者は仮設住宅に移住後、恒久住宅を取得するものとした。この結果は、地震直後にトルコ政府がこの規模の被災者援助を行うことは現実的に不可能であり、事前の建物の耐震性能向上と現行制度の見直しが不可欠であることを示唆する。

8.3 耐震補強奨励制度の導入効果の分析手法

トルコ共和国において耐震補強促進のための制度を検討するにあたり、日本の事例のように、耐震補強に対する助成や融資を行うという選択肢もある。しかし、助成や融資型の制度は必ず予算の問題に直面し、広く制度を普及させるのが困難となる。そこで、本論文ではトルコ共和国への耐震補強奨励制度の導入を提案し、地震動の異なる地域に立地する建物1万棟に対して提案制度を導入した場合、シナリオ地震発生時に住民及び行政にとってどのようなメリットがあるかを分析する。分析の流れを図8-7に示す。まず初めに1万棟の建物群のうち、ある割合の建物群が提案制度に加入したものと想定する。次にこれらの制度加入済み・未加入の建物群に対して、シナリオ地震による被害の推計を行う。

最後に建物に関する諸データとコジャエリ地震時の被災者支援に要した費用の実績値を利用して、提案制度の加入に伴う住民負担額及び行政負担額の変化を推計し、制度の効果を評価する。制度の導入効果に関する分析にあたっては、わが国において指摘される制度の利点が、トルコ共和国においても同様に制度の利点になりうるかどうかに着目するとともに、トルコ共和国の実情に即した制度の導入方法について検討する。

8.3.1 耐震補強奨励制度に基づく行政・住民の費用負担

前述のように、恒久住宅供与制度は将来的には廃止すべき制度である。理由は、現実的には経済的な問題から恒久住宅供与制度は機能しない可能性が高いにも関わらず、住民にとって多大な恩恵があると誤認され、耐震補強のインセンティブを無くさせているためである。とは言っても、急な制度改善は難しい。そこで、従来からの恒久住宅への低利融資を継続させた上での耐震補強奨励制度の導入(現状システム踏襲型)と、供給住宅供与制度を廃止した上での制度導入(理想のシステム型)の2つのケースを検討する。表8-7と表8-8に両ケースにおける制度導入に応じた住民と行政の費用負担の変化をまとめた。

図8-8に、現状システム踏襲型の制度加入時における住宅被害に伴う各種費用の発生パターンを示す。奨励金は、制度に加入しない場合には受け取れない。現状システム踏襲型による耐震補強奨励制度の導入では、基準に従って耐震補強を実施したにも関わらず全壊した場合に、仮設住宅の建設および恒久住宅の支給に加えて、さらに生活再建費用の一部に対して奨励金を支給するものとする。全壊被害に対して非常に手厚い制度になるが、住民の補強へのインセンティブは向上するものと考えられる。半壊・一部損壊した場合にも、建物補修費用の一部に対して奨励金を支給する(表8-7及び図8-8)。図8-8に示したように、半壊・一部損壊の場合には仮設住宅に入居せずに建物補修を行うものとした。

理想のシステム型では、恒久住宅供与制度は廃止するものとした。その替わり、耐震補強を実施したにも関わらず全壊した場合に、住宅再建費用相当を奨励金として支給するものとする。半壊・一部損壊した場合には、現状システム踏襲型と同額の奨励金を支給する(表8-8)。

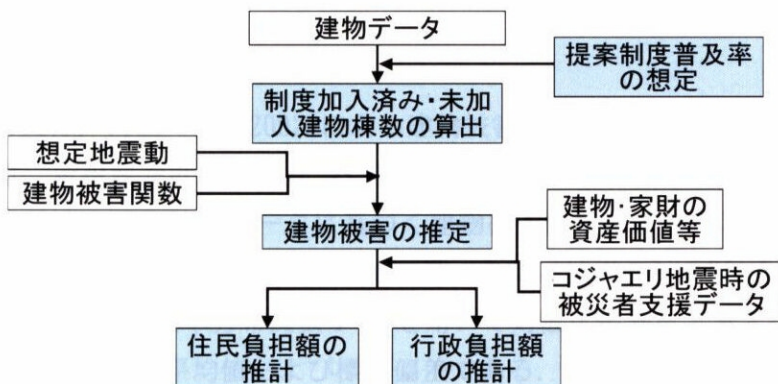


図 8-7 制度導入効果の評価の流れ

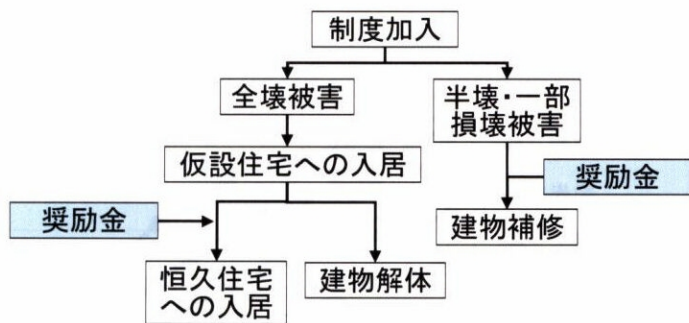


図 8-8 現状システム踏襲型での各種費用の発生パターン

表 8-7 現状システム踏襲型における費用負担

提案制度未導入	各種費用	提案制度導入後
住宅所有者	耐震補強費用	住宅所有者
住宅所有者	構造・設備被害額	住宅所有者
行政(恒久住宅費用低利融資)	全壊時の再建費用	行政(恒久住宅費用低利融資+奨励金)
住宅所有者	半壊・一部損壊時の補修費用	住宅所有者+行政(奨励金)
行政	仮設住宅建設費用	行政
行政	瓦礫撤去費用	行政

表 8-8 理想のシステム型における費用負担

提案制度未導入	各種費用	提案制度導入後
住宅所有者	耐震補強費用	住宅所有者
住宅所有者	構造・設備被害額	住宅所有者
住宅所有者	全壊時の再建費用	行政(奨励金)
住宅所有者	半壊・一部損壊時の補修費用	住宅所有者+行政(奨励金)
行政	仮設住宅建設費用	行政
行政	瓦礫撤去費用	行政

8.3.2 補強前後の建物強度

建物被害程度の推計には、JICA・IMM(2002)による建物被害関数を用いた。我が国における既存不適格建物の耐震補強では、新耐震設計基準に基づく耐震性能を付与する工事を耐震補強と認定している。ここで、兵庫県南部地震時の建物被害データに基づく建物被害関数により、我が国における新耐震設計基準(新耐震)前後の建物強度を比較する。ある地震動 x の時に被災ランク R 以上の被害が発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて対数正規分布で表されている(式8-1)。係数 λ および ξ はそれぞれ、 $\ln x$ の平均値および標準偏差である。新耐震以降である1982-1994年に建築された木造建物の関数では、 λ および ξ の値は、5.12および0.496である。一方、新耐震以前である1972-1981年建築の関数では、 λ および ξ の値は4.73および0.378である。これら両者の λ の差は0.39であり、これはおよそ ξ の値相当である。そこで、耐震補強を実施したことによる建物耐震性能の増加は、対数正規分布関数の平均値が標準偏差相当分だけ増加するものと仮定した。図8-9は、1-2階建ての組積造住宅の場合の、補強前(太線)と補強後(細線)の建物被害関数である。

$$P_R(PGV) = \Phi((\ln PGV - \lambda) / \zeta) \tag{8-1}$$

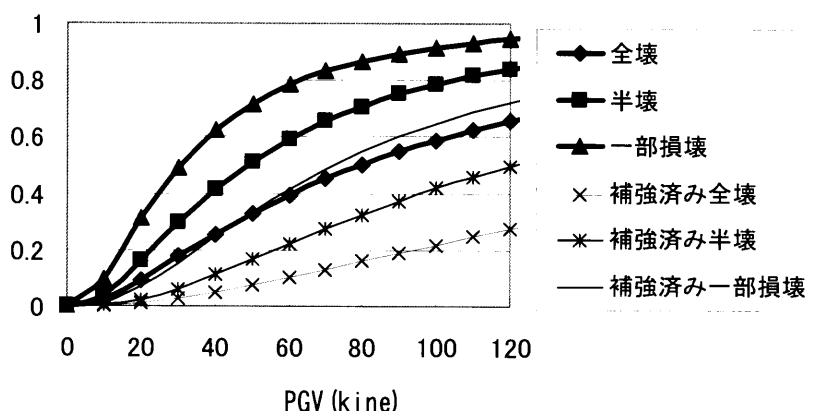


図 8-9 補強前後の建物被害関数

8.3.3 費用負担の算出に用いたデータ

組積造住宅の場合、構造部分の新規建設費用は40USドル/m²であり、耐震補強費用は30USドル/m²である(表8-4)。建物階層と1棟当たりの居住世帯数の関係より、組積造住宅の1-2階建てには2世帯居住しているものとし、総床面積は200m²とする(1世帯あたり床面積100m²)。新築時の資産価値は、新規建設費用と等しいものとした。住宅の構造と設備の被害額を見積もる際、被害額算定に用いる床面積あたりの資産価値は、新築資産価値が減価償却によって30年間で半減した(年間減少率2.7%)ものと仮定した。建物の補修費用は、半壊時には新築費用の1/3、一部損壊時にはその1/5とした。瓦礫撤去費用及び仮設住宅建設費用は表8-5、8-6の通りである。組積造住宅の1-2階建てが全壊した場合の奨励金支給額は耐震補強費用(6,000 USドル)の2倍相当と設定する。

8.4 耐震補強奨励制度の導入効果の分析結果

1-2階建ての組積造住宅1万棟に対して耐震補強奨励制度を導入した際の、制度加入率に応じた効果を紹介する。組積造住宅は前述の通り、建物ストックの23.2%を占め、耐震性能が低い(図8-3)。ここでは組積造住宅の80%を占める、1-2階建ての住宅を対象として選んだ。

8.4.1 現状システム踏襲型での制度導入による効果

まずは、現状システム踏襲型での制度を考える。奨励制度への加入率が増加するにつれて、建物被害が減少する(図8-10)。耐震補強費用を住民が負担する場合、奨励制度の普及に応じて、被害を受けた補強済み建物に対する奨励金の支払いが増加するものの、行政負担額の総額は減少する(図8-11-A)。この結果から行政側は提案制度の浸透によりメリットを有すると言える。一方、住民側の負担に着目すると、PGVが60kine以上の地域では、奨励制度が普及するほど住民負担の総額が減少する。しかし、PGVが60kine以下の地域では、耐震補強費用がかさむために住民負担の総額は逆に増加する(図8-11-B)。対象地域では、PGVが60kine以下の地域に、全建物の87%が存在していることから、制度普及のメリットは一部の建物に限られると言える。また、全壊世帯が恒久住宅を得ることによる利益の享受も考慮すると、住民負担はマイナスに転じ、過度の被災者支援のために住民が逆に利益を得る様子が明

らかとなる(図8-11-C).

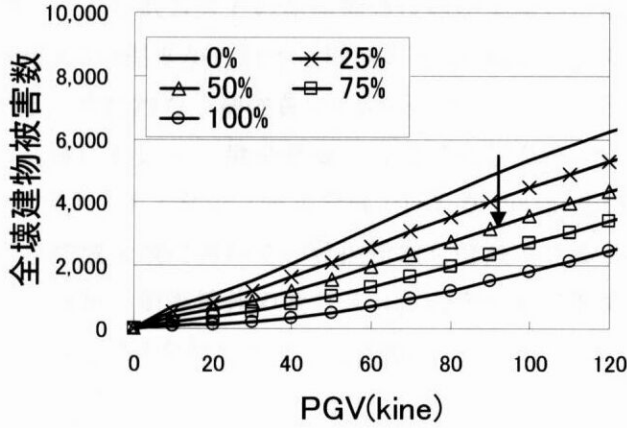
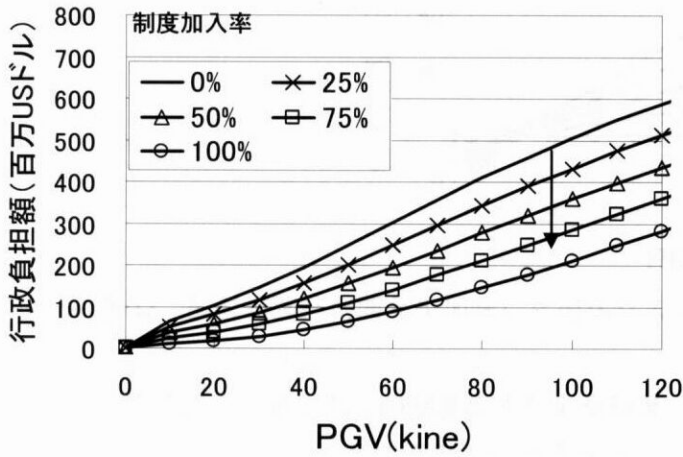
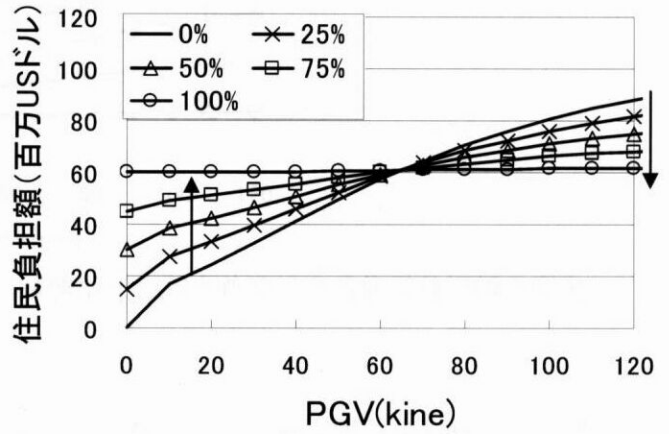


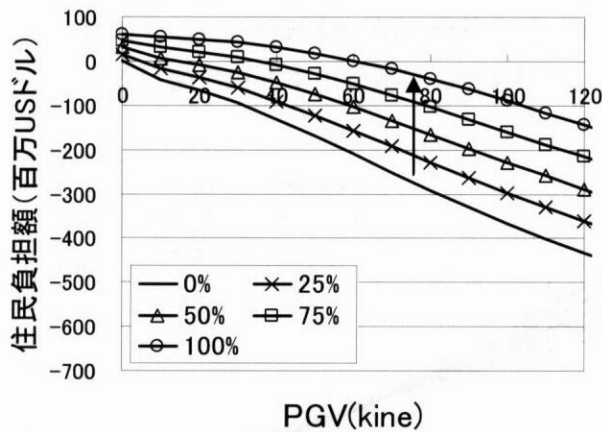
図 8-10 制度の普及による全壊建物数の変化



(A) 行政負担額の変化



(B) 住民負担額の変化



(C) 住宅取得利益を加味した住民負担額の変化

図 8-11 現状システム踏襲型での制度の普及による住民・行政負担額の変化

8.4.2 耐震補強技術開発を加味した現状システム踏襲型での制度導入による効果

次に、耐震補強技術の開発により低コストの耐震補強技術が実現した場合を考える。補強費用を現状の構造部分の新築建設費用の3/4程度から日本と同様の水準（構造部分の建設費用の1/8程度）まで低減させる技術開発を想定する。すなわち、補強費用を30USドル/m²から7.5USドル/m²とした。この条件では、PGV が10kine以上の地域において、奨励制度の普及に応じて総住民負担が減少する（図8-12）。図8-4に示したシナリオ地震では、イスタンブール全域でPGV が10kineを越える地震動が想定されており、制度の普及により、対象地域全域においての負担総額を軽減できると言える。耐震補強奨励制度の普及だけでなく、制度の普及と耐震補強の低コスト化とを同時に進めることにより、住民と行政の双方にメリットを生み出す制度設計を行うことができる。

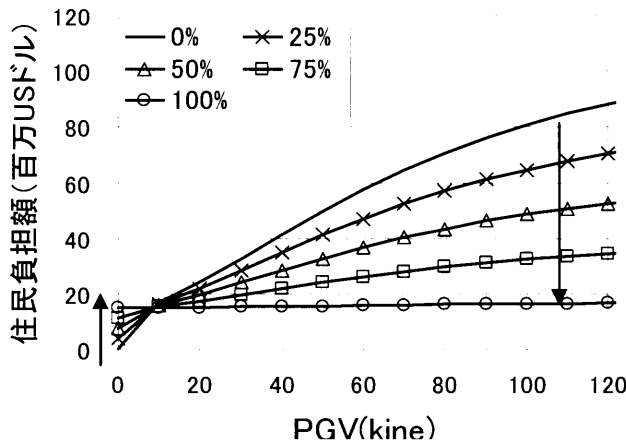


図 8-12 耐震補強技術開発を加味した現状システム踏襲型での制度普及による住民負担額の変化

8.4.3 理想のシステム型での制度導入による効果

最後に、理想のシステム型での制度導入を考える。恒久住宅供与制度を廃止する代わりに、全壊時の奨励金を耐震補強費用の2倍相当（12,000 USドル）から新規建物建築相当（20,000 USドル）に増額した。この場合、奨励金の支払いのため、地震動の大きい地域では制度の普及に伴って行政負担額は増加する（図8-13）。しかし、図8-11-Aと比較すると、行政負担額は現状システム踏襲型に比べて大きく減少することがわかる。被災者支援による巨額の財政支出を避けるためにも、理想のシステム型での奨励制度の導入が望まれる。

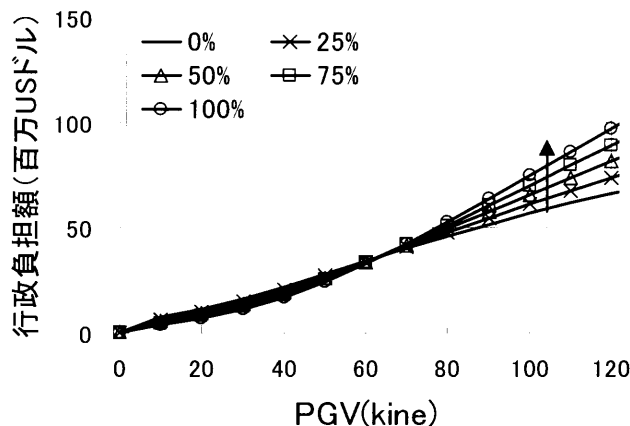


図 8-13 理想のシステム型での制度の普及による行政負担額の変化

8.5 まとめ

本論文では、ケーススタディとしてトルコ共和国イスタンブール地域を取り上げ、建物の耐震性能の問題点および耐震性能の確保が進まない理由を分析し、耐震補強を促進するための制度として、耐震補強奨励制度の導入を検討した。シナリオ地震発生時における住民及び行政にとっての制度導入の効果を分析した結果、現行の全壊住宅被害者への恒久住宅を継続した場合、提案制度導入による住民負担総額の縮減効果は一部の地震動の強い地域に限られた。しかし、耐震補強技術の開発により低コストの補強技術が実現した場合には、イスタンブール市全域の住民に対する負担総額を軽減することができた。提案制度の普及と耐震補強の低コスト化を同時に進めることにより、制度導入の効果を向上することができる。また、行政側の負担額に着目した場合には、現行の恒久住宅供与制度の廃止と耐震補強奨励制度の導入を同時に進めることにより、更なる行政負担額の軽減を図れる。本研究より、今後、日本や他の国際機関が防災における国際的支援を行う際、地震発生後の被災地支援だけでなく、制度設計や技術開発などの事前対策への支援を積極的に実施することが重要であることがわかった。

第8章 参考文献

日本建築学会：特定研究課題3 既存不適格建物の改善方策報告書，1998

目黒公郎・高橋健：既存不適格建物の耐震補強推進策に関する基礎研究，地域安全学会論文集，No. 3，pp. 81-86，2001. 11

吉村美保・目黒公郎：公的費用の軽減効果に着目した木造住宅耐震補強助成制度の評価，地域安全学会論文集 No. 4，pp. 247-254，2002. 11

総務省統計局：世界の統計，2003

東京都総務局：東京都の人口統計（H15. 1. 1 現在）

State Institute of Statistics:Population Census 2000, Republic of Turkey.

JICA・IMM: The Study on A Disaster Prevention/ Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, 2002. 9

阪神淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 総集編，日本建築学会，2000

文部科学省1999年トルコ・コジャエリ地震調査団：1999年トルコ・コジャエリ地震とその災害に関する調査・研究，自然災害科学，18-3，pp. 369-379，1999

神戸大学都市安全研究センター：トルコ・コジャエリ地震調査合同報告書（一次・二次・三次調査隊），2000. 3

Stein, R. S., Bara, A. A and Dieterich, H. J.: Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering Geophys. J. Int., 128, pp. 594-604, 1997

日本建築学会・土木学会・地盤工学会：1999年トルココジャエリ地震災害調査報告，2001

日本建築学会：1992年トルコ地震災害調査報告，1993

大橋雄二：日本建築構造基準変遷史，日本建築センター1993

日本建築学会：地震荷重—その現状と将来の展望，1987

EERI: World Housing Encyclopedia Report, Turkey, 2002

財)都市防災美化協会・地域安全学会：地震・火山災害における住民・行政の対応と被災地の復興 その1，2002. 7

中林一樹：トルコ・コジャエリ地震と都市復興の課題，都市計画，pp. 72-75，2000

村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 日本建築学会, No. 527, 189-196, 2000. 1

Paola Mayorca: 地震多発地域の無補強組積造建物の耐震補強対策法に関する研究, Strengthening of Unreinforced Masonry Structures in Earthquake Prone Regions, 東京大学博士論文, 2003. 9

SAPI Team for Japan Bank for International Cooperation: JBIC Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Emergency Earthquake Recovery Loan, 2002. 11

建築行政研究会: 建築物の耐震改修の促進に関する法律の解説, 大成出版社, 1996. 5

Campbell, K. W.: Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra, Seis. Rs. Lett., Vol. 68, No. 1, 154-179

外務省: トルコ北西部地震の概要と我が国の支援, 外務省HP,
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/turkey/99/>