

密集市街地の整備手法に応じた地震被害軽減の効果と課題

—地震時の複合的な災害シミュレーションを通じて—

都市計画分野 小島和佳子

1. 研究の背景

大地震発生時には、建築物の倒壊、道路の閉塞、火災の延焼といった被害が同時に生じる。中でも大都市に広範に分布する密集市街地では、甚大な被害が予想され、その対策は都市政策上の最重要課題のひとつである。

密集市街地における地震被害を軽減するうえでは、面的整備・道路整備、建替え促進、耐震改修促進などの整備手法を用いて市街地の防災性能を向上していく必要がある。面的整備・道路整備事業では、防災性能は著しく向上するが、財政上の理由から限定されること、合意形成に多大な時間を要することから、広範に存在する密集市街地全体を整備する手法としては限界がある。建替え促進策は、個々の建築物の防火性能・耐震性能は向上するが、住民・地権者の高齢化と資金不足、狭小敷地・接道不良敷地が多いなどの理由から、あまり効果があがっていない。耐震改修促進策は道路などの基盤が整備されないこと、建築物の防火性能が向上しないことなどにより、密集市街地整備施策として補完的な位置付けにとどまる。しかし、他の施策と比べて、一般的に早く安く対応できる、合意が得やすいというメリットがある。

整備手法にはそれぞれメリット・デメリットがあるが、地震被害軽減という点で、本来どの程度の効果を有するのかが十分に把握されていないのが現状である。

2. 研究の目的・位置付け

本研究の目的は、大阪市の密集市街地の典型地区を事例として、地震時の建築物倒壊・道路閉塞・火災延焼の3つの要因による複合的な被害状況を想定したうえで、密集市街地の整備手法に応じた地震被害軽減の効果と課題を明らかにし、今後の市街地整備に有益な知見を得ることである。

本研究が既往研究と異なる点は、倒壊危険性の高い建築物を個別に特定していること、道路閉塞が発生する危険性が高い地点を個別に特定していること、既存の延焼シミュレーションシステムを補完的に活用して建築物倒壊・道路閉塞・火災延焼の複合的な被害状況を想定していること、地震被害軽減効果を把握する指標として、町丁目単位での被災戸数割合を用いていることである。

3. 研究の方法 (図2)

事例地区は大阪市(1996)^{文1)}を参考に、木造建築物の被害率が高いX地区とした。

まず、事例地区の①「現状」および自律更新と区画整理が行われた②「10年後市街地モデル」を想定し、地震時の(1)建築物倒壊・(2)道路閉塞・(3)火災延焼の3つの要因、およびそれらを(4)複合的にシミュレーションし、被害状況を想定したうえで、「現状」および「10年後市街地モデル」の地震被害軽減効果を明らかにする。

さらに、「10年後市街地モデル」の中で、最も危険性の高い町丁目を対象とし、道路整備型モデル(③「幅員の異なる地区防災道路整備モデル」、④「中街路ネットワークモデル」、建築物整備型モデル(⑤「建替え促進モデル」、⑥「耐震改修促進モデル」、⑦「既存道路を活かした建替え・耐震改修促進モデル」)を想定し、(1)～(4)のシミュレーションを行い、被害状況を想定したうえで、各モデルの地震被害軽減効果を明らかにする。

なお、道路閉塞の要因としては、電柱・信号・街路樹などの倒壊も考えられるが、本研究では、最も主要な要因である建築物の倒壊のみを対象とした^{文2)}。

(1) 建築物倒壊シミュレーション

・倒壊危険建築物の推定

本研究では、国土交通省(2001)^{文3)}によって開発された「外観目視による簡易耐震診断法」を活用した「外観目視による仮耐震診断」により、耐震性能に関して全建築物に相対評価点を与え、大阪市(1996)^{文1)}における町丁目単位を基本とした構造別全壊率を再検討し、それらをもとに倒壊危険建築物を推定した。

(2) 道路閉塞シミュレーション

・道路閉塞の定義

倒壊に伴うガレキを図面上(GISを利用)で作成し、有効通行幅未滿の道路を道路閉塞とした(図1)。

ガレキの幅は、「R=階数×階高(2.5m)×0.7(m)」^{注1)}とし、通行可能性に応じて有効通行幅を変えた。

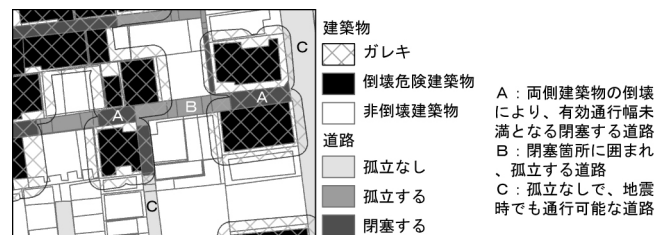


図1 ガレキと閉塞・孤立の関係

・通行可能性の分類

道路閉塞には、歩行者から大型車両まで、通行困難と

なる閉塞は様々である。本研究では、「歩行通行（有効通行幅：0m）」と「車両通行（有効通行幅：3.0m）」の通行可能性に分類した。

・道路の孤立状況の判定

歩行通行は、地区外周道路または地区内の避難所等への避難可能性、車両通行は、地区外周道路からの到達可能性の有無により判定を行った。本研究では、「孤立なし」、「孤立する」、「閉塞する」の3段階に分類した。

・建築物の避難・救助・消火可能性の判定

前面道路の孤立状況に応じ、「孤立なし」の場合は「避難・救助・消火可能」、「孤立する」または「閉塞する」場合は「避難・救助・消火困難」とした。

(3) 火災延焼シミュレーション

「防災まちづくり支援システム」^{注2)}を用いて、出火後30分毎の延焼状況を180分後まで把握した。風速は「4m/s・8m/s」、風向は「西・北」で行った。

(4) 複合シミュレーション

30分毎の延焼範囲に、「閉塞する」「孤立する」「孤立なし」の建築物を何戸含むかを通行可能性別に計測した。

なお、一般的に建物倒壊の際は延焼速度が遅くなるが、外壁の耐火被覆やモルタル等の剥離により、建物自体は燃えやすくなるため、非倒壊の延焼速度と同等とした。

□防災性能評価指標

「防災性能評価指標」を以下のように設定し、被害軽減効果の評価を行った。

(1) 倒壊危険建築物戸数率 (%)

[倒壊危険建築物戸数 / 総戸数 × 100]

(2) 避難・救助・消火困難戸数率 (%)

[避難・救助・消火困難戸数 / 総戸数 × 100]

(3) 延焼戸数率 (%)

[延焼戸数 / 総戸数 × 100 (出火後30分毎)]

(4) 複合的被災戸数率 (%)

[延焼範囲に含まれる避難・救助・消火困難戸数 / 総戸数 × 100 (出火後30分毎)]

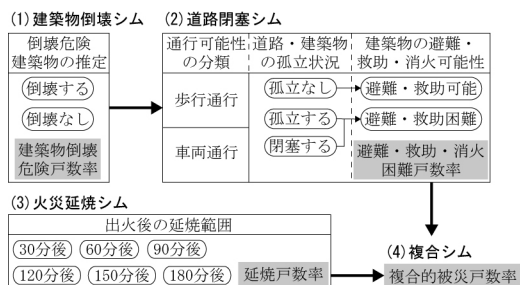


図2 シミュレーションフローおよび防火性能評価指標

4. 地区の現状および市街地モデルの設定

①現状

地区面積約108ha、総敷地数3,093件、全建築物棟数2,972棟、道路総延長は31,484.1mである。

②10年後市街地モデル

自律更新および地区の一部で実施されることが既に

事業計画で決定している区画整理を想定（事業期間30年のうち10年間分が進む）し、10年後市街地モデルを設定した。なお、自律更新は現状の市街地の更新動向にもとづく^{注3)}。敷地総数は2,889件、全建築物棟数は2,721棟、道路総延長は30,913.7mである。

③地区防災道路（幅員12m、8m）整備モデル

災害時の近隣住民の避難経路・防災活動拠点へのアクセス補助・延焼遮断の役割をもつ地区防災道路を整備するモデル。道路整備に伴い建替えた沿道建築物は、準耐火・耐火構造となり、耐震化もする。

④中街路（幅員6m）ネットワークモデル

地区防災道路（幅員8m）に加え、幅員6m道路が整備されネットワークするモデル。道路整備に伴い建替えた沿道建築物は準耐火・耐火構造となり、耐震化もする。

⑤建替え促進モデル

③の幅員8mの地区防災道路整備に伴う建替え分の建築物を建替える。準耐火構造の建築物が増加し、延焼しにくいモデル。

⑥耐震改修促進モデル

⑤の建替え促進モデルの倍の建築物を耐震改修することにより、倒壊する建築物を減少させたモデル。

⑦既存道路を活かした建替え・耐震改修促進モデル

自律更新のみが進む「10年後市街地モデル」のシミュレーション結果を参考にし、車両通行可能性からみた危険箇所に対し、整備（建替え・耐震改修）を行ったモデル。整備数は建替え1に対して耐震改修0.5とし、⑤と同じだけ行っている。建替えで幅員不足を、耐震改修で地区外周道路との接続路部分の閉塞を解消し、孤立する建築物を減少させた。また、地区全体の道路の位置付けとして重要である既存の6m道路を閉塞させないように、その沿道の建築物に対して耐震改修を行った。

5. 現状および10年後市街地モデルの被害状況比較

①現状（表1、表2）

町丁目によって地震被害の危険性は大きく異なり、B・C丁目で建築物倒壊・道路閉塞の危険性が高い。例えば、出火から3時間後の延焼戸数率は、A丁目で約2割、C丁目で約8割、複合的被災戸数率は、A・C丁目の歩行通行で1~3割、車両通行で6~7割である。

②10年後市街地モデル（表1、表2）

区画整理を行ったA丁目では、全ての防災性能評価指標で、大幅に改善された。避難・救助・消火困難戸数率は、歩行通行では地区全体で減少するが、車両通行では区画整理が行われた場所のみ大幅に減少し、自律更新のみでは車両通行は大幅に改善されない。また、A丁目では延焼戸数率も3%以下と低い値であるため、複合的被災戸数率は歩行通行・車両通行ともに、2%以下と大幅に改善するが、自律更新のみのC丁目は車両通行での大幅な改善はみられない。

区画整理により、地震被害軽減効果が大きく向上することが明らかとなったが、区画整理は整備に長時間を要するため、整備が実施されるまでの対応が必要である。

表1 ①②シミュレーション結果（建築物倒壊・道路閉塞）

	倒壊戸数率		避難・救助・消火困難戸数率			
	現状	10年後	歩行		車両	
			現状	10年後	現状	10年後
A丁目	24.9%	14.9%	14.7%	4.2%	38.3%	13.1%
B丁目	36.8%	24.2%	40.6%	16.6%	89.8%	36.8%
C丁目	47.9%	40.8%	39.0%	23.8%	83.3%	79.0%
D丁目	18.0%	10.1%	11.9%	5.8%	17.6%	9.3%
E丁目	29.3%	23.5%	18.5%	13.9%	41.5%	41.5%
F丁目	24.0%	16.0%	22.4%	14.9%	54.9%	36.6%
G丁目	3.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
H丁目	35.5%	19.1%	8.7%	4.4%	17.1%	8.6%
I丁目	1.4%	0.9%	2.4%	0.6%	2.6%	1.1%
J丁目	0.3%	0.2%	0.1%	0.0%	2.1%	0.1%
計	23.3%	15.3%	17.2%	8.3%	39.5%	23.3%

表2 ①②シミュレーション結果（火災延焼・複合）

	延焼戸数率		複合的被災率			
	180分後	現状	10年後	180分後		10年後
				歩行	車両	
A丁目	西4m/s	18.5%	2.4%	8.5%	0.5%	
	北4m/s	24.6%	0.6%	16.1%	1.8%	
C丁目	西4m/s	71.5%	65.4%	歩行	9.5%	0.0%
				車両	18.9%	0.0%
	北4m/s	79.9%	79.6%	歩行	29.5%	17.0%
				車両	61.5%	53.6%

6. 市街地整備手法に応じた地震被害軽減の効果

「10年後市街地モデル」のどの指標でも最も高い値を示し、危険性が高いC丁目を対象に（図3）、整備手法ごとのモデルを想定し、地震被害軽減効果を明らかにした（表3、4）。また、全モデルのC丁目における複合シミュレーションの結果を示す（図5）。

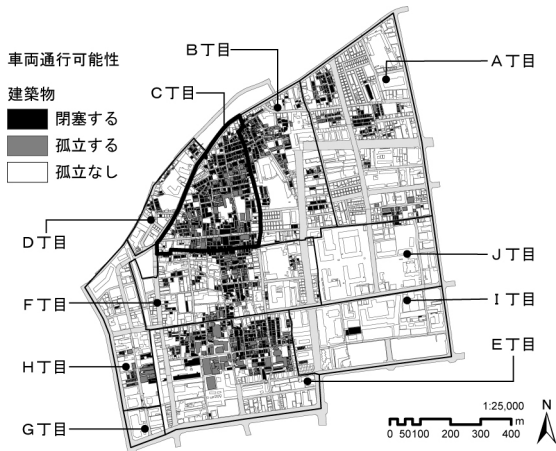


図3 10年後市街地モデルの救助・消火困難建築物の分布

③地区防災道路（幅員12m、8m）整備モデル

風向「西」は、整備した道路が延焼遮断帯となり、延焼戸数率、複合的被災戸数率は大幅に改善される。一方、風向「北」では遮断されないため、延焼が広がり、危険性は高い（図4）。これは、建築物や道路の配置に起因するものであり、延焼は風向や出火点によりその被害が大きく異なることを示す。また、アンコ部分は建築物の建て詰まりから延焼が広がり、危険なままである。

地区防災道路は、幅員8m以上は必要と考えられているが、複合シミュレーションの結果（図5）から、幅員だけでなく、沿道に延焼しない構造の建築物を連続させることも重要であることがわかった。

④中街路（幅員6m）ネットワークモデル

幅員8m道路に加えて、6m道路も整備しているため、全ての指標で③より改善する。また、整備された道路が増加したため、風向「北」は、全モデルで最も燃え広がらず、複合的被災率の車両通行は約3割と大幅に改善された。しかし、アンコ部分は危険なままである。

⑤建替え促進モデル

避難・救助・消火困難戸数率は、②と比較して、大幅な改善はみられず、町丁目内部で孤立する建築物が多く存在している。準耐火構造建築物の増加により、風向「西・北」ともに燃え広がりは若干遅くなり、複合的被災戸数率は、風向・通行可能性にかかわらず、②と比較して6~10%改善された。

⑥耐震改修促進モデル

倒壊戸数率、避難・救助・消火困難戸数率の歩行通行は、全モデルで最も小さい値となったが、依然27.4%の建築物は倒壊危険性がある。一方、避難・救助・消火困難戸数率の車両通行、延焼戸数率での改善はみられない。複合的被災戸数率は、歩行通行のみ②と比較して約1割改善された。個々の建築物の非倒壊率をあげるだけでは、車両通行に関する指標、延焼戸数率は改善されない。

⑦既存道路を活かした建替え・耐震改修促進モデル

避難・救助・消火困難戸数率、複合的被災戸数率の車両通行は②と比較して3~4割と大幅に改善されている。また、全モデルの中で、最も閉塞および孤立する建築物が少ない。延焼戸数率は②とほぼ同等であるが、複合的被災戸数率の車両通行は、風向にかかわらず、②と比較して約3割と大幅に改善された。道路閉塞が少なく、主要道路も閉塞しないため、初期消火に期待もできる。

表3 C丁目における②~⑦シミュレーション結果

倒壊戸数率		②	③12m	③8m	④	⑤	⑥	⑦	
避難・救助・消火困難戸数率	歩行	23.8%	19.3%	19.1%	18.8%	19.2%	15.0%	19.5%	
	車両	79.0%	69.7%	68.9%	55.6%	79.0%	76.5%	41.0%	
延焼戸数率	西4	65.4%	26.9%	21.3%	12.8%	54.2%	65.4%	64.7%	
	北4	79.6%	68.6%	68.1%	60.0%	69.7%	79.6%	79.6%	
複合的被災率	西4	歩行	17.0%	7.7%	6.1%	4.7%	10.8%	8.9%	13.4%
		車両	53.6%	18.5%	14.9%	6.7%	44.1%	51.8%	28.8%
	北4	歩行	22.4%	17.9%	17.8%	15.6%	14.6%	14.1%	18.5%
		車両	64.8%	53.8%	53.4%	37.4%	56.2%	62.7%	36.4%

表4 地震被害軽減の効果があったモデルとその要因

シム名	モデル名	要因	
建築物倒壊シム	⑥	個々の建築物の耐震改修により非倒壊率UP	
道路閉塞シム	歩行	⑥	
	車両	⑦、④	
火災延焼シム	西4	④③、⑤	
	北4	④、③⑤	
複合シム	西4	歩行	④
		車両	④③、⑦
	北4	歩行	⑥
		車両	⑦④

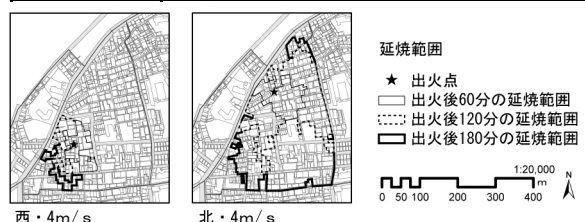


図4 地区防災道路（8m）の風向別延焼状況

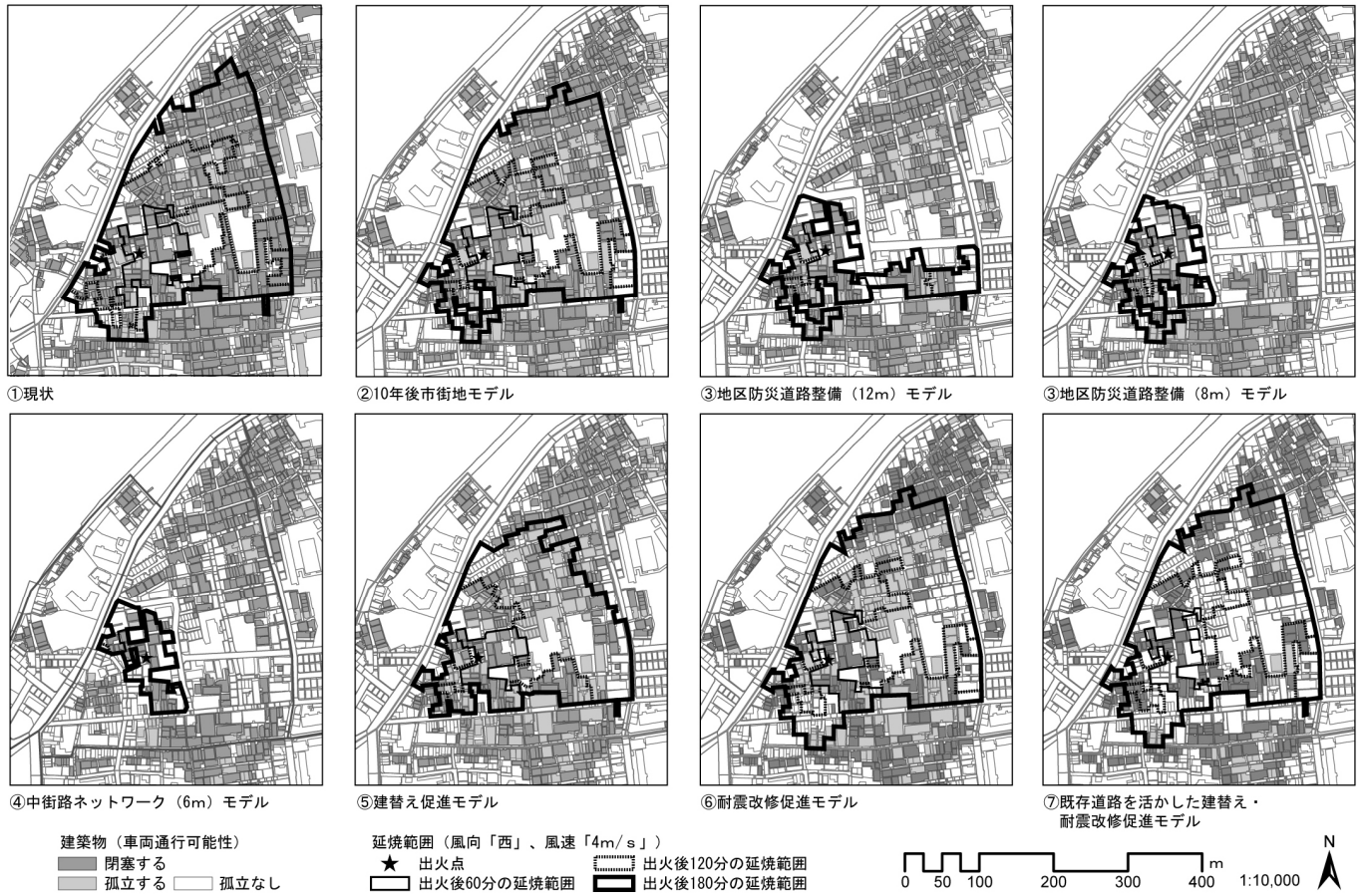


図5 ①～⑦の複合シミュレーションの結果（車両通行可能性、風向「西」、風速「4m/s」）

7. 結論

(1) 整備手法に応じた地震被害軽減の効果と課題

建築物倒壊の被害軽減という点では、整備戸数が最も多い「耐震改修促進」が最も効果が高かった。

道路閉塞の被害軽減という点では、歩行による避難・救助を前提とした場合は、「耐震改修促進」が最も効果が高く、車両による救助・消火を前提とした場合は、「既存道路を活かした建替え・耐震改修促進」が最も効果が高かった。

火災延焼の被害軽減という点では、「道路整備型」、その次に「建替え促進」の効果が高かった。しかし、風向・出火点で、大きく燃え広がりが異なるため、画一的な結果として把握することは困難である。

複合的な被害軽減という点では、歩行による避難・救助を前提とした場合は、「中街路ネットワーク」、「耐震改修促進」の効果が高く、車両による救助・消火を前提とした場合は、「中街路ネットワーク」、「既存道路を活かした建替え・耐震改修促進」の効果が高かった。

(2) 密集市街地整備計画への示唆

当面は、既存道路沿道や地区外周道路の接続路部分を建替え・耐震改修により整備し、孤立および閉塞する建築物を減少させ、初期消火での鎮火を目指す手法が、望ましい。しかし、将来的には、地震被害の軽減に地区防災道路は無視できない。そこで、地区防災道路と沿道の延焼しない構造をもつ建築物を一体的に整備する計画

を立てたうえで、アンコ部分では建替えや耐震改修を促進するといった段階的な市街地整備が重要である。さらに、部分的な建替えや耐震改修では危険性が改善されない部分は、部分的に区画整理などの面的整備事業を行うか、共同建替えや連担建築物設計制度が適用されることが望まれる。しかし、これらの整備はコストや合意形成の面で課題が多いため、先に述べた耐震改修や耐火改修などを導入しながら、個々の建築物の改善により地震被害軽減の効果をあげ、進めていくことが重要である。

今後の課題は、実際にどのように住民と合意形成をとっていくか、どのように公と民が役割分担をすればよいのかといったものがあげられる。また、本研究では、整備コストに関しての比較を行っていないため、整備コストを含めた整備手法と整備効果の検討も必要である。

補注

注1) 文2)を参考に、阪神淡路大震災における道路閉塞の発生状況と事例地区での道路閉塞の発生予測を比較・検討した結果、建築物の高さに0.7を乗じた値がガレキ幅として妥当と判断した。

注2) 国土交通省の総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」にあわせ、民間企業により組織された「防災まちづくり研究会」で開発された。地区レベルの防災性能向上を最終的な目標とし、GIS上に地区の現況およびまちづくりの計画案を表示し、それぞれの防災性能を評価することで、計画案を比較評価して防災まちづくりを支援するシステム。本研究では事務局である(財)都市防災研究所の許可を得て使用している。

注3) 住宅地図、GISデータ「大阪市建物現況データ（平成4年度版、平成12年度版）」、現地調査結果から1992～2002年の10年間の更新棟数は、地区全体で戸建住宅379棟、共同住宅57棟、事務所等86棟であった。

参考文献

- 文1) 大阪市(1996)「大阪市地域防災計画にかかる災害想定・被害想定業務報告書」
- 文2) 家田仁、上西周子、猪股隆行、鈴木忠徳(1997)「阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響」土木学会論文集No.576, IV-37, pp69-82
- 文3) 国土交通省(2001)「密集住宅地における耐震改修の推進に向けて-丈夫な家は街を救う-