

3.1.4.5 住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成17年度業務目的

(2) 平成17年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 研究の背景
 - 2) リスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ最適化
 - 3) 手法の適用
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成18年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京海上日動リスクコンサルティング株式会社 開発グループ	グループリーダー 主任研究員	矢代晴実 林孝幸	h.yashiro@tokiorisk.co.jp takayuki.hayashi@tokiorisk.co.jp

(c) 業務の目的

都市の防災能力を高める事は、安全で安心な生活を実現する上で必要不可欠な事項である。そのためには、行政だけでなく、企業・個人の防災意識を高め自発的な防災活動への取り組みを行うような社会システムの構築が重要である。

地震防災で大きな問題として木造密集地域における既存不適格建物の存在がある。この既存不適格建物として1981年の耐震基準以前の建物と考えると、日本の建物の半数以上、木造建築では70%以上と言われている。これらの建物の耐震改修を進めないと将来の地震発生時に多くの人的・経済的被害が出ることは明らかである。それにもかかわらず、耐震改修・耐震補強や地震保険加入が大きく広がらない現状がある。

本研究では、現状の地震保険と耐震改修・耐震補強を推進する社会システムを実現するために、日本における耐震補強による地震保険割引制度の実態、米国における地震保険の耐震補強における割引制度の実態調査を実施した。そして、洪水リスクに関して米国では、自治体による土地利用制限や住宅ローンの融資条件と洪水保険を関連付ける仕組みを構築している例がある。ここで、このシステムの実態に関する調査を行い、耐震診断・耐震補強の実施、地震保険の加入へのインセンティブの働く社会システムに関して研究を行ってきた。

保険等のリスクファイナンス手法を活用して、耐震改修・耐震補強をとったリスクコントロールを推進しようという社会システムを構築するということは、リスクファイナンスとリスクコントロールの融合を如何に実施・推進できる社会システムを構築できるかということにほかならない。現在では、リスクファイナンスにおいても従来の保険といった限られた手法だけでなく、保険においても高額免責の設定、不担保特約の活用、ファースロス契約、レトロスペクティブ契約、ファイナイト保険等の多くの手法が生まれている。他の手法では、金融・資本市場を利用したものでは地震デリバティブ、地震リスクの証券化、融資枠契約を活用したものでは、コミットメントライン、コンティンジェントデット等の各種の手法が現れてきている。それらの手法とリスクコントロールを有効的に結びつ

けることにより耐震力を向上させる社会システムが構築可能になるであろうと考える。そこで本研究ではリスクファイナンスとリスクコントロールの組み合わせの最適化に関して研究を行なう。

(d) 5ヵ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

日本の地震保険における耐震補強による保険料率割引に関する調査を行なった。その結果、耐震補強法の内容、検定等のスキームに関して明らかにした。

2) 平成15年度：

米国・カリフォルニアにおける地震保険における耐震補強による保険料率割引に関する調査を行なった。その結果、耐震補強法の内容、検定等のスキーム、補強を実現するための融資制度に関して明らかにした。そして、日米の地震保険による料率割引制度の差異を明らかにした。

3) 平成16年度：

防災対策の推進を保険という手法をインセンティブとして利用している、米国の洪水保険の調査を行い、自治体を巻き込んだ防災対策推進の取組に関する研究を行った。そして日本での地震保険と自治体の対応を組合せた、防災対策の推進に関して考察を行った。その結果からリスクコントロールとリスクファイナンスの相互協力関係の重要性に関して考察を行った。

4) 平成17年度：

以前の研究により、住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険のあり方に関して、自然災害リスクマネジメントという視点からリスクコントロールとリスクファイナンス相互協力関係を深める必要があることがわかった。このことから、リスクコントロールとリスクファイナンスに関する最新研究の調査を行い、これらの手法の相互協力関係に関して考察を行う。

5) 平成18年度：

リスクコントロールとリスクファイナンスを併用したリスクマネジメントは、その組合せが課題であり、費用対効果を指標とした組合せを考えることが必要になる。そこで、リスクファイナンスの手法の構成法とリスクコントロールのコスト比較により最適化の検討を行なう。実際には、損失に基づくトリガーとパラメトリックトリガーの両者の特徴を有するリスクファイナンス手法を提案・構築するとともに、当該手法をリスク評価に適用し、リスク対策コストとの比較検討により、その有効性を検討する。

(e) 平成17年度業務目的

保険等のファイナンス手法を活用して耐震改修・耐震補強をとといったリスクコントロールを推進しようという社会システムを構築するということは、リスクファイナンスとリスクコントロールの融合を如何に実施できる社会システムを構築できるかということにほかならないと考えた。現在では、リスクファイナンスにおいても従来の保険といった限られた手法だけでなく、保険においても高額免責の設定、不担保特約の活用、ファースロス契約、レトロスペクティブ契約、ファイナイト保険等の多くの手法が生まれている。金融・資本市場を利用したものでは地震デリバティブ、地震リスクの証券化、融資枠契約を活用したものでは、コミットメントライン、コンティンジェントデット等の各種の手法が現れてきている。それらの手法の組み合わせとリスクコントロールを有効的に結びつけることにより新たな耐震力を向上させる社会システムが可能になるであろう。そこで本研究では地震リスクマネジメントの観点から、リスクファイナンスとリスクコントロールの組み合わせの最適化に費用対効果を指標として両者の組合せを考える研究をおこなう。

(2) 平成17年度の成果

(a) 業務の要約

保険等のリスクファイナンス手法を活用して、耐震改修・耐震補強をとといったリスクコントロールを推進する社会システムを構築することは、リスクファイナンスとリスクコントロールの融合を如何に実施・推進できる社会を構築できるということにほかならない。本研究は、リスクマネジメントの視点からリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ方法について、費用対効果を表す指標として所与の供用年間中のライフサイクルコスト（以下、LCC）に着目し、LCC最小化の原理に則ったリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ最適化を検討し、リスクファイナンス設計の枠組みを構築する試みに関する研究を実施した。さらに、関東地域に複数の建物を有するオーナーを設定し、リスクファイナンススキームの選択や設計水準の設定に関する検討を行った。その結果、供用年数により採るべきリスクマネジメント手法が異なり、供用年数が長いほどリスクコントロール（設計水準の向上）が有利となり、短いほどリスクファイナンス（リスク移転）が有利となる。そして、構造被害による損失に対する全損失の比によっても採るべき手法は異なり、構造被害が小さければリスクコントロールのみで十分であるが、構造被害が大きくなるに従い、地震保険との併用、証券化との併用へと手法が切り替わる。なお、供用年数によっては、地震保険が採択されない場合もあることが明確になった。

(b) 業務の成果

1) 研究の背景

地震や風水災等の自然災害、火災・爆発等の事故、環境問題等多くのリスクに囲まれている。特に、日本では地震によるリスクが大きく、無視できない。

リスクへの取り組み方であるが、評価の客観性及び説明性の確保という観点からは、リスクマネジメント手法を用いることが合理的であり、その中で、①リスクの発見、②リスクの定量化、③リスクの処理、④処理後のリスクの再評価、という一連の手順を追うこととなる¹⁾。リスクの処理は、リスクコントロールとリスクファイナンスに大別される。前者は耐震基準の引き上げや耐震補強といった施策であり、発生する損失そのものを低減させるものである。一方、後者は損害保険等により、発生した損失に対して経済的な補填を行うものである。

地震リスクは極めて巨大な損失を与えるものであり、予測の精度も必ずしも十分ではないため、その対処の方法としてリスクコントロールのみを用いることは非現実的である。また、リスクファイナンスのみを用いることは、損失の低減や人命の確保に繋がらず、やはり非現実的である。したがって、実際のリスクマネジメントにおいては、リスクコントロールとリスクファイナンスを併用し、前者により極力損失を低減し、それでもなお発生する損失については後者により補填する、という立場をとることが合理的であると考えられる²⁾。

ところで、このようなリスクコントロールとリスクファイナンスを併用したリスクマネジメントでは、その組合せ方が課題であり、費用対効果の観点から両者の組合せを考えることが必要になる。

本研究では、費用対効果を表す指標として所与の供用年間中のライフサイクルコスト（以下、LCC）に着目し、LCC最小化の原理³⁾に則ったリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ最適化を検討し、リスクファイナンス設計の枠組みを構築する。

2) リスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ最適化

a) LCC 評価の枠組み

本研究では、リスクコントロール施策として設計水準の割増を、リスクファイナンス施策として地震保険ならびに地震リスクの証券化を考える。

LCC の評価においては、建物の建設から撤去に至るまでの全ての費用と便益を考慮することが原則である。ただし、本研究では議論を単純にするため、維持管理費用、撤去費用、便益はリスクコントロール及びリスクファイナンスに独立であると仮定し、LCC 評価の枠組みから除外する。このとき、LCC は次式で与えられる。

$$C_L(x,t) = C_I(x) + C_R(x,t) + C_T(x,t) \quad (1)$$

ここで、 C_L は LCC、 C_I は初期建設費用、 C_R は地震リスク、 C_T はリスクファイナンスに要する費用である。なお、リスクコントロールに要する費用は C_I に含まれている。また、 x は設計水準で、具体的には 1 次設計用標準せん断力係数を表す。 t は供用期間で

ある。(1)式右辺第2項は次式で求める。

$$C_R(x,t) = t \cdot \alpha \cdot C_R^*(x) \quad (2)$$

ここで、 C_R^* は年間の地震リスクで、リスク回避者のリスクカーブより求めることができる。また、 α は係数で、建物の損失に対する総損失の比を表す。

一方、(1)式右辺第3項は次式で求める。

$$C_T(x,t) = t \cdot [\beta \cdot C_{T1}^*(x) + C_{T2}^*] \quad (3)$$

ここで、 C_{T1}^* は年間期待地震保険支払額で、リスク引受者のリスクカーブから求めることができる。 β はプレミアムである。 C_{T2}^* は証券化に係る費用であるが、証券化の場合には元本と配当利率から移転費用が設定されるため、ここでは定数とした。

なお、リスク回避者、リスク引受者のリスクカーブの評価手法については文献4)を参照されたい。

b) リスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ

(1)式は所与のリスクファイナンススキームに対するLCCを与えるものである。LCCは設計水準 x の関数として表すことができる。すなわち、リスクコントロールについては連続量としての扱いが可能である。一方、リスクファイナンスに関しては、離散的にスキームを設定せざるを得ない。

そこで本研究では、予め設定したリスクファイナンススキームについて x と C_L の関係（一般には下に凸の関数として与えられる）を評価する。さらに、これを全スキームについて求めることで、 C_L が最小となるようなリスクファイナンススキームと、そのときの x を得ることができる。これが最適なリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せである。

以上を模式的に示すのが図1である。同図では、採るべきリスクファイナンススキームとして、スキーム2が選択されている。

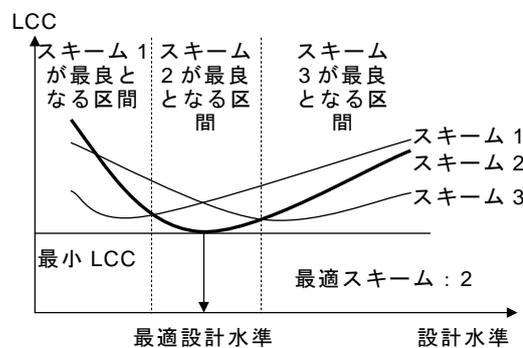


図1 最適なリスク処理施策の組合せ

3) 手法の適用

a) 対象建物群

関東地方に配置された 25 の建物からなる建物群（以下、ポートフォリオ）を設定した。建物の再調達価額は全棟共通で 100 とした。対象ポートフォリオを図 2 に示す。なお、破線で囲んだ領域内の 10 建物は、設計水準向上の対象となるものである。

各建物は同一の耐震性能を有するものとし、文献 4) に従い、表 1 に示すような fragility curve の特性値を被害程度毎に設定した。fragility curve の中央値は建物 1 階位置での入力加速度に相当するが、ここでは、表層地盤の応答倍率を 1.5⁵⁾、地表の応答に対する建物基礎の応答の比を 0.7⁶⁾ と仮定することで、同表の値を工学的基盤上のものと読み替えた。なお、同表の値は、 $x=0.2$ とした場合のものであり、fragility curve の中央値は x に比例すると仮定した。また、同表には、各被害程度に対する被害額も併せて示している。

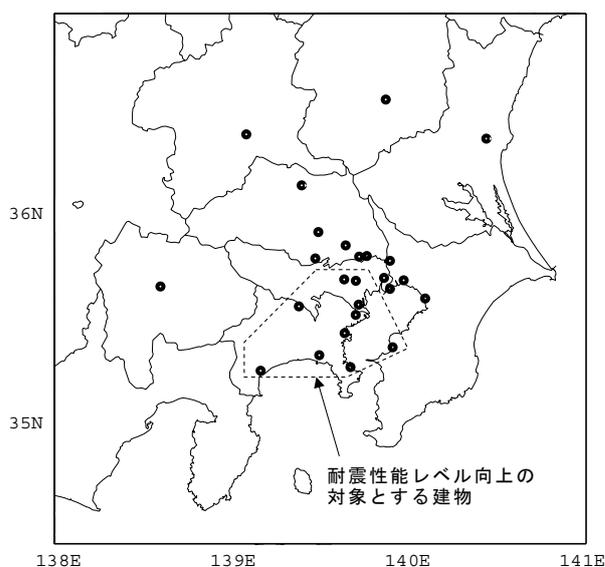


図 2 建物群の配置

表 1 被害程度別の fragility と被害率

被害程度	fragility curve の特性値		被害額
	中央値 (Gal)	対数標準偏差	
小破	160	0.4	5
中破	480	0.4	10
大破	800	0.4	30
倒壊	1120	0.4	100

b) 地震環境

地震環境については、文献 7) のものを採用した。また、距離減衰式についても同文献と同様、以下に示す安中式を採用した。

$$\log A = 0.61M + 0.00501h - 2.203\log(d) + 1.377 \quad (4)$$

$$d = (\Delta^2 + 0.45h^2)^{0.5} + 0.22\exp(0.699M)$$

ここで、 A は最大加速度、 Δ は震央距離、 h は震源深さ、 M はマグニチュードである。距離減衰式のばらつきを表す対数標準偏差は、自然対数で0.5と設定した。

c)地震保険の条件設定

前項までに示した条件を用いて、リスク移転がない場合のPMLを求めた。地震保険の引受限度額はPMLに依存するため、ここでは、複数の耐震性能を有するポートフォリオを設定した。

解析ケース1は、表1に示した fragility を全建物に与えた場合である。解析ケース2と3は、図2に示した建物の内、破線で囲まれている建物について中央加速度耐力をそれぞれ1.25倍、1.5倍にしたものである。ここで選定された地点は、関東地震が支配的となる地点であり、現実的な施策と考えられる。

得られたリスクカーブを図3に示す。また、PMLの値はそれぞれ、344、256、213と得られた。PMLを引受限度額の上限值として、表2に示すような地震保険の諸元を設定した。なお免責額については、総資産(2500)の2%とした。

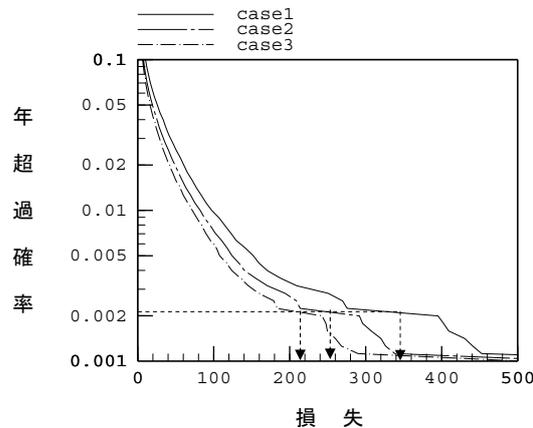


図3 リスクファイナンスが無い場合のリスクカーブ

表2 地震保険に関する諸元

諸定数	耐震性能レベルの向上 (解析ケース)		
	1	2	3
免責額	50	50	50
引受限度額	350	250	200

d)証券化の条件設定

証券化において必要な諸元は、元本、元本没収率、グリッドである⁴⁾。元本は前述したように定数とし、解析ケース1における地震保険の支払限度額(引受限度額-免責額)を基に300と設定した。

グリッドについては、ポートフォリオの損失に寄与が大きいと考えられる南関東地域

に位置する建物を含むように、図4に示すような4角形を設定した。

元本没収については、M7.0で元本没収を開始し、M8.0で全額が没収されるような元本没収率を設定した。

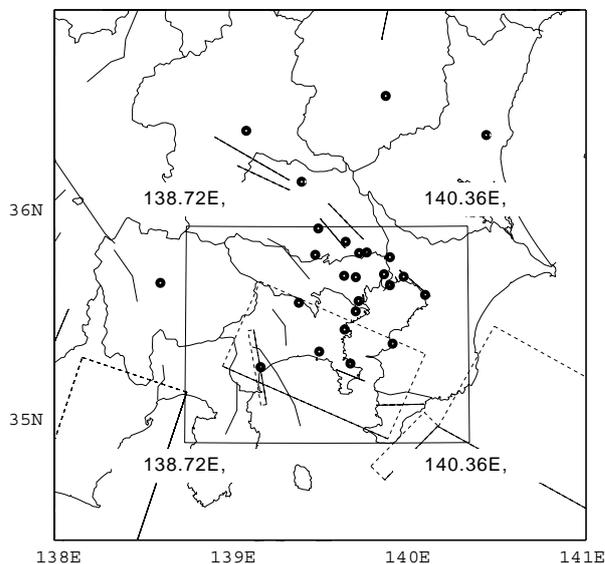


図4 証券化で用いるグリッド

e) リスクファイナンススキーム

本研究では、免責額から引受限度額までの部分についてリスクファイナンスによりリスクを移転する。リスク移転を行わないスキームをスキーム0とし、その他に、地震保険と証券化の組合せに応じて、図5に示すようなリスクファイナンススキームを設定した。

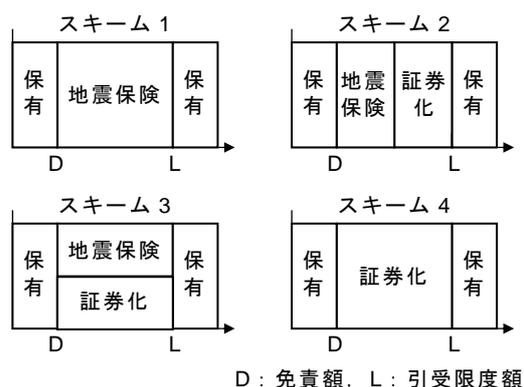


図5 設定したリスクファイナンススキーム

f) 初期建設費用

新建築構造体系の開発⁵⁾によれば、建設費と標準せん断力係数はほぼ線形関係であること、標準せん断力係数が0.2から0.4になれば建設費は約20%上昇すること、が示されている⁸⁾。また、耐震性能レベル_xの増加を考慮する建物棟数は10である。これより、ポートフォリオとしての初期建設費用は以下となる。

$$C_I(x) = 10 \times (80 + 100x) + 15 \times 100 = 2300 + 1000x \quad (5)$$

g)地震リスク

設計水準を違えた 3 ケースについてポートフォリオのリスク解析を行い、その結果から年間地震リスク C_R^* を設計水準 x の関数として求めた。得られた結果を以下に示す。

$$C_R^* = 1.11x^{-1.043} \quad (\text{スキーム 0}) \quad (6a)$$

$$C_R^* = 1.16x^{-0.846} \quad (\text{スキーム 1}) \quad (6b)$$

$$C_R^* = 1.26x^{-0.726} \quad (\text{スキーム 2}) \quad (6c)$$

$$C_R^* = 1.21x^{-0.744} \quad (\text{スキーム 3}) \quad (6d)$$

$$C_R^* = 1.20x^{-0.671} \quad (\text{スキーム 4}) \quad (6e)$$

h)リスクファイナンスに要する費用

地震保険に係る年間期待費用 C_{T1}^* は、地震リスクの場合と同様に、ポートフォリオのリスク解析結果から、設計水準 x の関数として求めた。得られた結果を以下に示す。

$$C_{T1}^* = 0.0965x^{-1.707} \quad (\text{スキーム 1}) \quad (7a)$$

$$C_{T1}^* = 0.0650x^{-1.834} \quad (\text{スキーム 2}) \quad (7b)$$

$$C_{T1}^* = 0.0483x^{-1.707} \quad (\text{スキーム 3}) \quad (7c)$$

なお、リスクプレミアム β に関しては米国の事例に基づき $\beta=6$ と設定した。

一方、証券化については、元本没収額の最大値を元本と考え、それに利率 γ を乗じた。証券化に係る年間期待費用 C_{T2}^* は次式で求めた。

$$C_{T2}^* = 150 \cdot \gamma \quad (\text{スキーム 2}) \quad (8a)$$

$$C_{T2}^* = 150 \cdot \gamma \quad (\text{スキーム 3}) \quad (8b)$$

$$C_{T1}^* = 300 \cdot \gamma \quad (\text{スキーム 4}) \quad (8c)$$

利率 γ に関しては LIBOR (London Inter-Bank Offered Rate: ロンドン銀行間取引利率) +3% とし、LIBOR については 2.5% を採用した。

i)解析結果

設計水準 x の現実的と考えられる範囲を 0.2~0.3 とした上で、係数 α と供用期間 t を変数とした場合の最適なリスクファイナンススキームと最適設計水準を求めた。なお、 α と t の範囲として、それぞれ 1~50 を設定した。

図 6 に解析結果を示す。 α と t の組合せに応じて採るべきリスクファイナンススキームや設計水準が異なる事がわかる。

今回設定した変数の範囲では、最適スキームとして現れたものはスキーム 0、スキーム 1、スキーム 4 の 3 つであった。供用期間が数年以上であるならば、最適スキームの選定に与える供用期間の影響は小さくなく、係数 α によってスキームが決定される。一方、設計水準 x に関しては、 α と t が大きくなるに従い x も増大する。

リスクコントロールとリスクファイナンスの関係で言えば、供用期間が長い場合には、 α の増大に対してリスクコントロールが先行し、後に、リスクファイナンスを援用するこ

となる。供用期間が短い場合には反対に、リスクファイナンスが先行し、リスクコントロールが続くことになる。これは、供用年数が長いほど、1年あたりに換算した初期投資費用が少なくなり、設計水準の向上がLCC最小化に対して有利になるからである。

反対に、供用年数の短い期限付き建物の設計や残存期間が短い既存建物の耐震補強に関しては、単に補強するのではなく、リスクファイナンスが合理的な施策である。

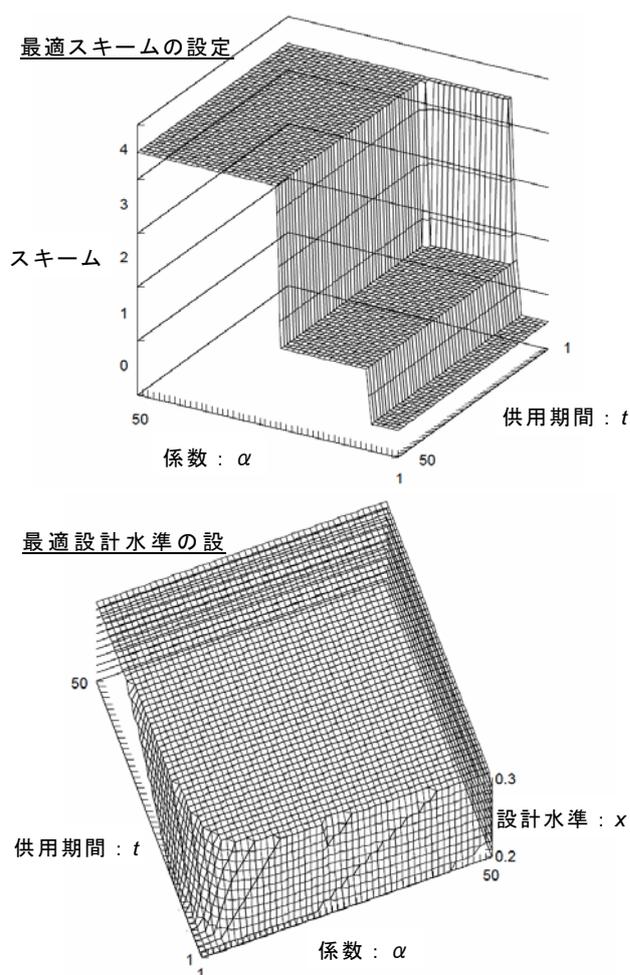


図6 解析結果

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究では、地震リスクマネジメントを対象に、その施策としてのリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ方法について、LCC最小化の観点から検討を行った。さらに、関東地域に複数の建物を有するオーナーを設定し、リスクファイナンススキームの選択や設計水準の設定に関する検討を行い、以下の結論を得た。

1) 供用年数により採るべきリスクマネジメント手法が異なり、供用年数が長いほどリスクコントロール（設計水準の向上）が有利となり、短いほどリスクファイナンス（リスク移転）が有利となる。

2) オーナーの構造被害による損失に対する全損失の比 α によっても採るべき手法は異なり、 α が小さければリスクコントロールのみで十分であるが、 α が大きくなるに従い、地震保険との併用、証券化との併用へと手法が切り替わる。なお、供用年数によっては、地震保険が採択されない場合もある。

3) 今回設定を行ったリスクファイナンスに要する費用の条件では、地震保険と証券化の組合せは合理的な結果を与えなかった。リスクプレミアムの数値は、他の自然災害の発生状況等により変動するものであり、この数値如何では、地震保険と証券化の組合せが最適解を与えることもあると考える。

本研究で示した例は単純なものであるが、これを現実的な問題に展開することは容易であると考えている。今後は、より現実的な組み合わせや組み合わせの最適化について検討を行う予定である。

なお、本研究では現在の支出である初期建設費用と将来の支出である地震リスクやリスク移転費用を足し合わせているが、後者については将来の価値を現在の価値に変換することが必要である。価値の割引率によっては結果が変わることも予想されることから、割引率の値やその不確実性が与える影響については今後の課題としたい。

(d) 引用文献

- 1) 福島誠一郎、矢代晴実：地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価、日本建築学会計画系論文集、No.552, pp.169-176, 2002.2
- 2) 福島誠一郎、矢代晴実：リスク移転を考慮した耐震性能レベル設定の考え方、日本建築学会構造系論文集、No.567、pp.197-204、2003.5
- 3) 例えば、中村紀吉、成川匡文、岸野泰章、福島誠一郎、岩田衛、和田章：特殊用途建築物に適用可能な機能に基づく耐震設計の考え方、日本建築学会構造系論文集、No.511、pp.149-156、1998.9
- 4) 福島誠一郎、矢代晴実：地震リスクの証券化における条件設定に関する解析、日本建築学会計画系論文集、No.555、pp.295-302、2002.5
- 5) 建築物荷重指針・同解説、日本建築学会
- 6) 林他：兵庫県南部地震による被害率曲線、1998年度日本建築学会災害部門PD資料、pp15-20、1998
- 7) T.Annaka and H.Yashiro：A seismic source model with temporal dependence of large earthquake occurrence for probabilistic seismic hazard analysis in Japan, Risk Analysis, WIT PRESS, pp.233-242, 1998
- 8) 新建築構造体系の開発、目標水準分科会報告書、建設省建築研究所、1998.3

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

特に無し

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

特に無し

(3) 平成18年度業務計画案

都市の防災能力を高める事は、安全で安心な生活を実現する上で必要不可欠な事項である。そのためには、行政だけでなく、企業・個人の防災意識を高め自発的な防災活動への取り組みを行うような社会システムの構築が重要である。

本研究では、自然災害リスクマネジメントにおけるリスクコントロールとリスクファイナンスの最新研究の調査を行い、リスクコントロールとリスクファイナンスの相互協力関係に関して考察を行う。

特にリスクファイナンスでは、支払い基準として、地震の発生位置と地震規模等の客観的な値（以下、パラメトリックトリガー）を用いており、補填額の評価に透明性と迅速性を与えている。一方、パラメトリックトリガーを用いるリスクファイナンス手法には、実際の損失と補填額との乖離によるリスク（以下、ベースリスク）が存在する。ベースリスクによる不利益を、不十分な補填に伴うリスクと、過度な補填に伴うリスク対策コストに大別し、これらが互いにトレードオフの関係にあると考えられる。また、そのために地震保険に比べてリスクヘッジに要する費用が割高であり、普及の阻害要因となっている。そこで、パラメトリックトリガーを用いながら、ベースリスクを小さく留めるようなリスクファイナンス手法が実現されれば、その普及によって災害時の経済損失の拡大を防ぐことが可能となると考えられる。

本研究では以上を鑑み、損失に基づくトリガー（以下、損失トリガー）とパラメトリックトリガーの両者の特徴を有するリスクファイナンス手法を提案・構築するとともに、当該手法をリスク評価に適用し、リスク対策コストとの比較検討により、その有効性を検討する。

