

論文 免震構造の安全性・修復性・経済性のトレードオフ関係を考慮した設計法に関する基礎的研究

豊田 陽平*1・衣笠 秀行*2・大西 直毅*3・向井 智久*4

要旨: 現在, 大地震時における一般の耐震設計では, 安全性を重視し, 修復性を軽視する傾向がある。また, 建築物は投資と収益の観点から望まれる建物経営がなされなければならないが, 基礎免震構造では, 建築コストの上昇と伴に建物外周部にクリアランスと大きな擁壁が必要となる。本研究では免震層のクリアランス量を変化させた際に発生する安全性と修復性と経済性のトレードオフ関係を, パラメータごとにトレードオフ関係の強・弱(安全性の向上に伴い発生する損傷量及び投資価値の増減の大小)の観点から分析を行った。

キーワード: 免震構造, 安全性, 修復性, 経済性, トレードオフ, 鉄筋コンクリート構造

1. はじめに

最近の地震被害から, 大地震時に対する建物性能として安全性だけでなく, 修復性についても考慮すべきであることが指摘されるようになった¹⁾。また, 一方で, 建築物は投資と収益の観点から望まれる建物経営がなされることも考慮しなければならない。今後の耐震設計では安全性だけでなく修復性と経済性を加えた3つの性能目標を満足させることが望まれる。

本研究ではこれら3つの性能を考慮した設計法を行う上での基礎資料を得ることを目的に, 構造物への地震入力を抑えることが可能である免震構造を取り上げ, 免震クリアランス量, 免震層の周期・ダンパー量, 建物の階数・規模とベースシア係数を変化させた際の免震構造の安全性, 修復性, 経済性の関係性について比較分析を行うものである。

2. 安全性・修復性・経済性の評価

2.1 安全性・修復性・経済性の定義

安全性を免震建物が擁壁に衝突する危険性として捉え, 免震層の最大変位がクリアランスに達するに必要な地震動の大きさ(基準地震波に乗じた倍率 α (以下, 地震動倍率 α)) で表現する。

修復性は修復難易度の指標として, 免震層の最大変位がクリアランスに到達する寸前の免震層を除く建物各層の変形角の合計値 ΣR を階数で除した平均層間変形角 R_A を用いることとする。これは, 修復性を安全性発揮時の損傷で定義するものであり, 確保されている安全性の質を問題にしていることになる。

経済性は不動産の現在価値 a_1/CR から初期投資額 A を差し引いた金額 NPV (正味現在価値) により評価する(式

(1)). NPV は投資の意思決定の参考とされ, その値が大きい建物は投資する魅力が高いとされている²⁾。

$$NPV = a_1 / CR - A \quad (1)$$

a_1 : 年純収益, CR : 還元利回り

A : 建物価格+土地価格+免震化費用

修復性は本来, 修復のために必要な費用や時間で評価されるべきである。しかし, 現状では修復費用を評価する手法は発展段階で有るため, 簡易的に R_A で評価した。

2.2 安全性・修復性・経済性の関係の評価方法

図-1 に示す安全性・修復性・経済性の関係について考える。安全性を上げたことによって, 修復性が低下(R_A が増加)することや, 経済性が低下(NPV が減少)することが起こりえる。このような場合, 安全性の上昇に対して修復性や経済性を低下させる, すなわち両性能間にトレードオフ関係が発生したことを意味する。本論文では, 各パラメータを変化させた際に発生するこのトレードオフ関係の強さ(傾きの大きさ)を, 安全性対経済性, 安全性対修復性, 経済性対修復性のそれぞれについて論じることを目的とする。なお, 図-1 では経済性を NPV (円) で表しているが, これ以降では主に NPV 比を用いる。 NPV 比は, 基準耐震建物として敷地面積一杯に建つ $C_B=0.2$ の耐震建物を想定し(図-2), 免震化時の NPV をこの基準耐震建物の NPV で除したものである。

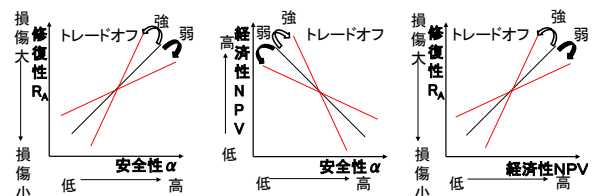


図-1 安全性と修復性と経済性の関係性分析

*1 東京理科大学 大学院理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 東京理科大学 理工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

*3 北海道大学 大学院工学研究院空間性能システム部門 助教 博(工) (正会員)

*4 独立行政法人 建築研究所 博(工) (正会員)

3. 解析概要

3.1 解析モデル

(1) 建物モデル概要

解析には免震部材下部を固定とし、免震層と上部構造の各層を質点に置換した多質点系の等価せん断ばねモデルを用いた(図-3)。上部構造は鉄筋コンクリート構造を想定しており、階高を3mとし、単位床面積あたりの重量を14kN/m²とする。クリアランス50cmを基準として³⁾、積層ゴムだけの剛性に基づく固有周期(以下、周期T_f)に合うように柱スパンと積層ゴムの剛性を決定した。上部構造の減衰定数は瞬間剛性比例型で3%とし、免震層はダンパーの履歴減衰のみとし、数値積分には平均加速度法を用いた。なお、解析プログラムには(株)構造システムのSNAPを使用した。

(2) 免震層部材の復元力特性

免震部材には天然ゴム系積層ゴムと鉛ダンパーを用いる。天然ゴム系積層ゴムと鉛ダンパーの詳細を表-1に示す(表中のスパンと解析ケースとの対応は後述の表-2 欄外参照)。最大面圧が15N/mm²以下となる様に設定した。免震層の復元力特性は、積層ゴムの弾性、鉛ダンパーを完全弾塑性であるとみなしBi-Linearでモデル化した(図-4)。免震層全体の初期剛性k₀は、設定した周期T_fと建物全体の質量より定めた積層ゴムの剛性k_fにダンパーの初期剛性k_sを加えたものとする。

(3) 上部構造の復元力特性

上部構造の復元力特性にはDegrading Tri-Linearモデルを用いた。モデル作成手順を示す。①降伏耐力Q_yはA_i分布、ひび割れ耐力Q_cは降伏耐力の1/3倍と設定した。②降伏変位δ_yをH/150(Hは階高)とし、降伏点の割線剛性K_yはK_y=Q_y/(H/150)と設定した。③初期剛性Kを周期T=0.02×建物高さ(m)となるように降伏時剛性低下率α_yを調整し、降伏後の剛性低下率は0.001とした。④弾性限耐力を0.9Q_yと設定し、地震動倍率α=1で上部構造の最大応答層せん断力はこれ以下となるようにした。

3.2 解析ケース及びパラメータ

パラメータとして、免震層や上部構造の応答変形、NPVに影響を及ぼすと考えられる、免震クリアランス量、ダンパー数、周期T_f、建物階数・規模とベースシア係数C_Bを取り挙げた。解析にあたっては表-2の解析ケースに従い、それぞれのパラメータで比較を行った。C_Bは全てのケースで0.2及び、ケース1, 2では0.15についても解析を行った。免震クリアランス量を変化させる場合、それに伴って敷地面積または建築面積を変えることが考えられる。本研究では図-2に示すように、免震クリアランスを確保するために、ケース1, 3, 5では敷地面積を変更(建築面積一定)、ケース2, 4, 6では建築面積

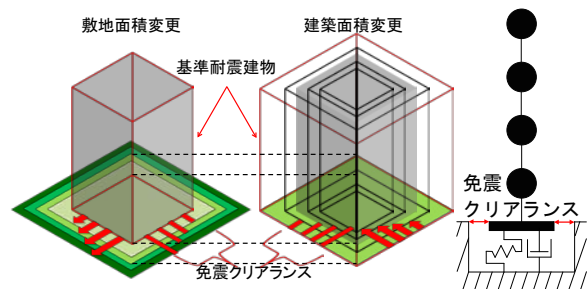


図-2 ケース分け概念図

図-3 解析モデル

表-1 使用免震部材

(1) 天然系積層ゴム

	7層		15層			
	7m×3スパン	7m×5スパン	5m×7スパン	7m×3スパン	7m×5スパン 8.75m×4スパン	11.7m×3スパン
ゴム外径(mm)	700	800	1000	1000	1100	1200
水平剛性(kN/m)	747	986	1859	1530	1860	2220
単価(万円)	164.5	196	232	287	336	399

(2) 鉛ダンパー

鉛ダンパー 型	U2426
降伏荷重(kN)	220
1次剛性(kN/m)	30000
2次剛性(kN/m)	0
限界変形量(mm)	800
単価(万円)	140

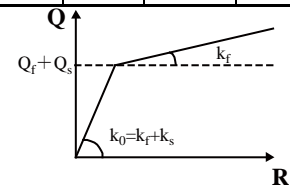


図-4 免震層復元力特性

表-2 解析ケース・パラメータまとめ

	免震クリアランス(cm)	建築面積(m ²)	敷地面積(m ²)	基準耐震建物	地震動倍率α	免震周期T _f (s)	ダンパー数	階数
ケース1	40,50,60,70で変化	441or1225で固定	建築面積(441or1225)+免震クリアランス	クリアランスゼロの時の敷地の大きさを敷地面積とする建ぺい率100%の建物をここでは、基準耐震建物と呼ぶ	免震クリアランスと免震層の応答変形が一致するα	4or5or6	表-3	7or15
ケース2	40,50,60,70で変化	敷地面積(484 or1296)-免震クリアランス	484or1296で固定		1.5	4	表-3	7or15
ケース3	40,50,60,70で変化	441or1225で固定	建築面積(441or1225)+免震クリアランス		1.5	4	免震クリアランスと免震層の応答変形が一致するダンパー数	15
ケース4	40,50,60,70で変化	敷地面積(484 or1296)-免震クリアランス	484or1296で固定		1.5	4		15
ケース5	1.25δ _r , δ _r +20	1225で固定	建築面積(1225)+免震クリアランス		1.0	3, 4, 5, 6で変化	表-3	15
ケース6	1.25δ _r , δ _r +20	敷地面積(1296)-免震クリアランス	1296で固定		1.0		表-3	15

δ_r:免震層の地震動倍率α=1の時の応答変形

* 建築面積441m²と敷地面積484m²は7m×3スパン

建築面積1225m²と敷地面積1296m²は5m×7スパンor7m×5スパンor8.75m×4スパンor11.7m×3スパン

を変更(敷地面積一定)させている。ケース 1, 2 は設定された免震クリアランスと免震層の応答変形が一致するように地震動倍率 α を変化させたものである。ケース 3, 4 は地震動倍率 α を一定値 1.5 に固定して、設定された免震クリアランスと応答変形が一致するようにダンパー量を変化させたケースである。ケース 5, 6 は地震動倍率 α を一定値 1.0 に固定して、周期 T_f を変化させた際の、免震層の地震応答変位 δ_f の 1.25 倍かつ 20cm を加えた値以上の値にクリアランスを設定したケースである。ケース 1, 2 におけるダンパー数は、包絡解析法により求まる最適ダンパー量から決定した⁴⁾⁵⁾⁶⁾(表-3)。また、使用する地震波は、(株)構造システムの SNAPWAVE を用いて作成した模擬地震波であり、KOBE の NS 成分(神戸海洋気象台で観測した兵庫県南部地震の加速度記録の NS 成分: 原波で最大加速度 821cm/s²)を位相スペクトルとした。この地震波の加速度応答スペクトルを図-5 に示す。

3.3 経済性概要

式(1)の a_1 および建物価格は、上部構造の延床面積に a_1 は延床の収益効率 a/m^2 (万円/m²)を、建物価格は延床面積当たり単価(万円/m²)をそれぞれ乗じたものとした。各値は J-REIT の開示情報データベース⁷⁾を元にデータ数の多い RC 造、住居用途から東京都港区の実物件を参考に設定した(表-4)。免震化費用割合は、建築概算見積りソフト「CostNavi」(建築ソフト(株))により算出した(表-3)。使用した免震部材の詳細は表-1 である。ベースシア係数が 2 倍になると建設費は約 10% 増加することが知られている⁸⁾⁹⁾。ここでは、これを参考にベースシア係数上昇(耐震性向上)による価格上昇係数を β とし、 $C_B=0.2$ で 1.0 となる次式で求めることとした。

$$\beta=0.48014C_B+0.90749 \quad (2)$$

表-3 ダンパー数・免震化費用割合

	7 層		15 層				
	7m×3 スパン	7m×5 スパン	7m×3 スパン	7m×5 スパン	5m×7 スパン	8.75m×4 スパン	11.7m×3 スパン
T_f (s)	4		3		5		
V_e (cm/sec)	150						
α_c	0.05		0.07		0.04		
ダンパー数	11	30	23	64	85	51	42
免震化費用割合(%)	16.3		10.9		8.3		

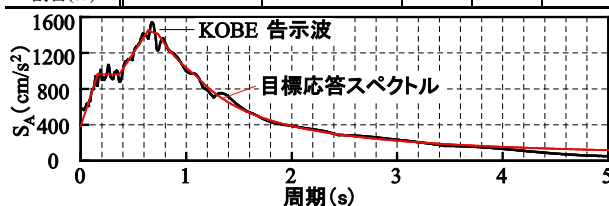


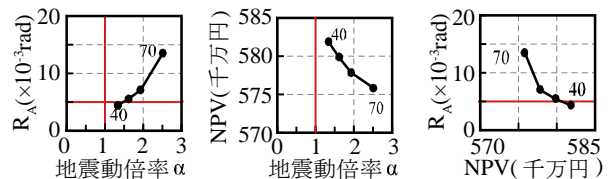
図-5 加速度応答スペクトル(h=5%)

表-4 経済性の各パラメータ

CR	土地単価(万円/m ²)	a/m^2 (万円/m ²)	建物再調達価格(万円/m ²)
0.044	228	6	25

4. 安全性・修復性・経済性のトレードオフ関係

図-6 は 15 層、ケース 1、建築面積 441m²、 $C_B=0.2$ 、 $T_f=4$ (s)における敷地面積を変化させ、クリアランスを 40, 50, 60, 70cm とした際の、(1)地震動倍率 α と平均層間変形角 R_A の関係、(2)地震動倍率 α と正味現在価値 NPV の関係、(3)地震動倍率 α を増加させた際の正味現在価値 NPV と平均層間変形角 R_A の関係を示している。また、以降の図中の 40, 70 はクリアランス量(cm)を示しこの間のプロットは 50, 60 のものを意味しており、赤線は $\alpha=1.0$ および $R_A=0.005$ を表す。この図からクリアランスが増加するにつれて、 R_A - α 関係では右上に、NPV- α 関係では右下に向けてプロットされていることが見て取れる。また、 α の増加に伴う R_A -NPV 関係では右下に向けてプロットされていることが見て取れる。このことから、安全性は修復性、経済性のそれぞれに対してトレードオフ関係を有し、経済性と修復性のトレードオフ関係はないことが分かる。つまり、安全性を上げようとするれば、修復性と経済性が低下し、経済性を最大にしようとするれば、修復性は高くなるが、安全性は低下することが分かる。これは、クリアランスを増加させることにより、擁壁に達するまでの地震動倍率が上がり、大きな安全性が確保できるが、それに伴い上部構造に地震エネルギーがより多く伝わり、また、土地価格の増加により、経済性が低下したためと思われる。以下では、各パラメータの比較分析を経済性を NPV 比で表現した各図で、この傾向を詳しく見ていくことにする。また、各パラメータにおいて(3)の α の増加に伴う R_A -NPV 関係はトレードオフ関係がなく、各値は(1) R_A - α 関係、(2)NPV- α 関係より読み取れるため、以後省略する。



(1) R_A - α 関係 (2) NPV- α 関係 (3) R_A -NPV 関係
図-6 安全性・修復性・経済性のトレードオフ関係

4.1 クリアランス確保法の違いが各性能に及ぼす影響

図-7 は $C_B=0.2$ 、 $T_f=4$ (s)の 7 層、15 層におけるクリアランス確保の方法の違い(ケース 1 とケース 2)が地震動倍率 α と平均層間変形角 R_A 、NPV 比の関係に及ぼす影響を比較示したものである。なお、ケース 1 では建築面積 441m²、ケース 2 では敷地面積 484m²である。図-7(1)、(2)より α の増加に伴う R_A の増加傾向はケース 1, 2 で同じであり、 α の増加に伴う NPV 比の減少はケース 2 の方が多いことが見て取れる。このことから、 R_A 、 α 、

NPV 比の間では、 α と R_A および、 α と NPV 比の間でトレードオフが発生していることが分かる。また、この α の増加に対する NPV 比のトレードオフ関係は敷地面積を大きくしたケース 1 より建築面積を小さくしたケース 2 の方が強くなっている。これは、クリアランスを大きくする際、敷地面積増加による土地価格の増加よりも建築面積減少による収益の低下の方が NPV 比の減少に大きく関わるためと考えられる。また、図-7(2)よりケース 2 の方が免震化による NPV 比の低下が大きい (NPV 比が全てのクリアランス量で小さい) ことが見て取れる。これは、敷地面積の増大 (ケース 1) より建築面積の減少 (ケース 2) の方が NPV に影響が大きいことが原因であると推察される。

4.2 階数の違いが性能に及ぼす影響

図-7(1)から α の増加に伴う R_A の増加はクリアランス 40~60cm 時ではほぼ同じだが、7 層の建物ではクリアランス 70cm 時に R_A が急激に増加していることが見て取れる。これは、地震波の周期特性の影響から 7 層が 15 層と比較して免震による長周期化による入力エネルギーの低減が図れなかったことにより建物の塑性化が生じたことが原因と考えられる。このことから免震建物では、想定される地震波の周期特性の考慮が重要になり、地震波や建設地の地盤によってトレードオフ関係の強弱も異なることが推察される。また、図-7(2)から 7 層の方が α の増加に伴う NPV 比の減少が大きくなっていることが見て取れる。このことから、7 層の方が安全性に対する経済性のトレードオフ関係が強くなっていることが分かる。また、図-7(2)から 7 層の方が免震化による NPV 比の低下が大きくなっていることが見て取れる (NPV 比が全てのクリアランス量で小さい)。NPV 比はケース 2 の 7 層で特に小さい。これは、延べ床面積の小さい低層の方が投資における免震化費用割合が大きく、延べ床面積の小さい分、収益や土地価格の変動の影響が大きくなるためと考えられる。

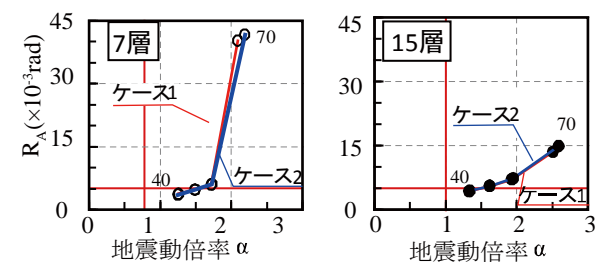
4.3 ベースシア係数 C_B の違いが性能に及ぼす影響

図-8 は 15 層、 $T_f=5(s)$ のケース 1, 2 におけるベースシア係数 C_B の違いが地震動倍率 α と平均層間変形角 R_A 、NPV 比の関係に及ぼす影響を比較し示したものである。なお、ケース 1 では建築面積 1225 m^2 、ケース 2 では敷地面積 1296 m^2 である。また、図中の文字は上部構造のベースシア係数 C_B を示す。図-8(1)から C_B が小さい建物の方が、 α の増加に伴う R_A の増加が大きくなり、また、同図(2)から NPV 比の減少(傾き)はほぼ変わらないことが見て取れる。このことから、 R_A 、 α 、NPV 比の間では、 α と R_A および、 α と NPV 比の間でトレードオフが発生していることが分かり、 C_B が小さい建物ほど安全性に対する修復性のトレードオフ関係が大きいことがわかる。

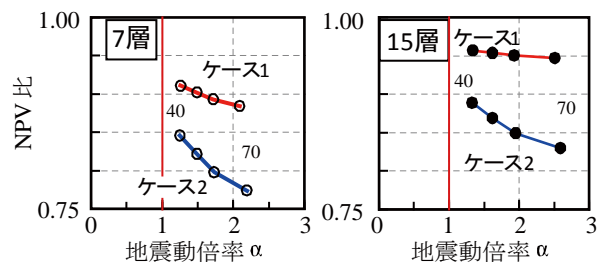
これは、 C_B が小さい建物では弾性限耐力に対して余裕が少ないため、上部構造の降伏後に変形が進んだためと考えられる。このことから、設計の際に安全性・修復性・経済性のそれぞれのトレードオフ関係を考慮するとともに、建物が免震クリアランスまで変形した時に、終局耐力に達しないように余裕を持った上部構造の設計がなされるべきであると思われる。

4.4 建物規模の違いが性能に及ぼす影響

図-9 は 15 層、 $C_B=0.2$ 、 $T_f=4(s)$ のケース 1, 2 における建物規模の違いが地震動倍率 α と平均層間変形角 R_A 、NPV 比の関係に及ぼす影響を比較し示したものである。図中の文字はケース 1 では建築面積、ケース 2 では敷地

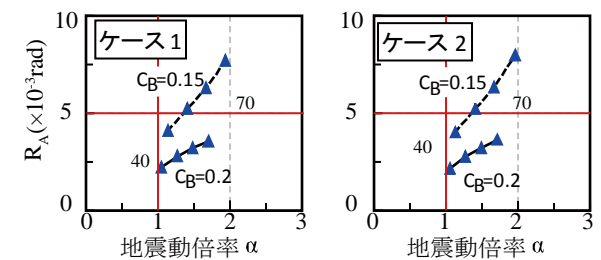


(1) R_A - α 関係

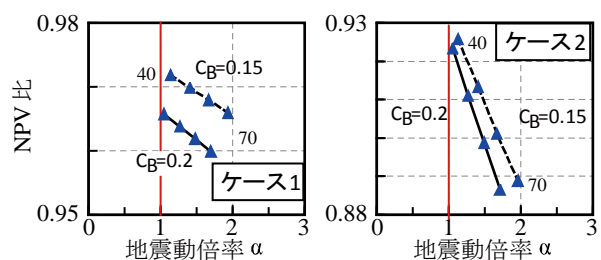


(2) NPV 比- α 関係

図-7 クリアランスの取り方による比較



(1) R_A - α 関係



(2) NPV 比- α 関係

図-8 C_B の違いによる比較

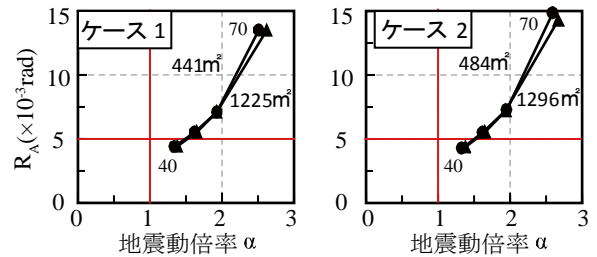
面積を示す。この図から α の増加に伴う R_A の増加は同じ (同図(1)) だが、建物規模が大きい建物の方が、 α の増加に伴う NPV 比の減少が少なくなっていること (同図(2)) が見て取れる。このことから、 R_A 、 α 、NPV 比の間では、 α と R_A 及び、 α と NPV 比の間でトレードオフが発生しており、建物規模を大きくするにつれて、安全性に対する経済性のトレードオフ関係が弱くなると考えられる。また、図-9(2)より建物規模の小さい建物の方が免震化による NPV 比の低下が大きくなっていることが見て取れる (NPV 比が全てのクリアランス量で小さい)。この低下量はケース 2 で特に大きい。これらのことは、建物規模が大きい方がクリアランス増加による敷地面積増加および、建築面積減少の割合が小さいためと考えられる。よって、建物規模が小さい建物では α と NPV 比のトレードオフ関係が強くなること及び免震化による NPV 比の低下に注意が必要であると言える。

図-10 は 15 層、 $C_B=0.2$ 、 $T_f=4(s)$ のケース 3、4 ($\alpha=1.5$) における建物規模の違いが平均層間変形角 R_A と NPV 比の関係に及ぼす影響を比較し示したものである。図中の文字はケース 3 で建築面積、ケース 4 で敷地面積を示している。ケース 3、4 はケース 1、2 とは異なり地震動倍率 α を一定値 1.5 に固定して、設定された免震クリアランスと応答変形が一致するようにダンパー量を変化させた解析ケースである。図-10 から、クリアランスが 60cm の際に R_A が最小値を取る U 字曲線となっていることが見て取れる。これは、 R_A が最小値を取るダンパー量が存在するためと考えられる。ダンパー量を変え、応答変形を変化させた際に免震層の層せん断力が最小になるダンパー量が存在することが既往の研究で示されており¹⁰⁾、このことと関係していることが推察される。

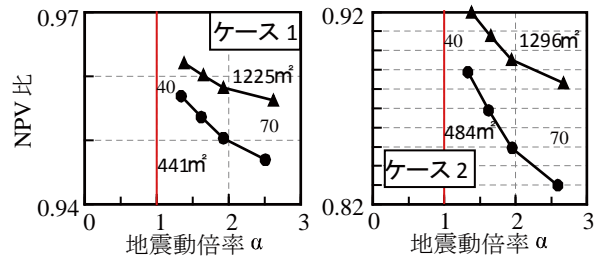
4.5 周期 T_f の違いが性能に及ぼす影響

図-11 は 15 層、 $C_B=0.2$ のケース 1、2 における周期 T_f の違いが地震動倍率 α と平均層間変形角 R_A 、NPV 比の関係に及ぼす影響を比較し示したものである。なお、ケース 1 では建築面積 1225 m^2 、ケース 2 では敷地面積 1296 m^2 である。また、図中には積層ゴムのみ剛性に基づく固有周期 T_f が示されている。この図から周期 T_f を 5、6 と長くするにつれて、 α の増加に伴う R_A の増加が少なくなるが、同じ免震クリアランスにおける α は小さくなっていることが分かる (同図(1))。一方で α の増加に伴う NPV 比の減少の強さ (傾き) はほぼ変わらない (同図(2))。また、免震化による NPV 比の減少は T_f が大きくなると小さくなっていることが見て取れる (同図(2))。このことから、 R_A 、 α 、NPV 比の間では、 α と R_A 及び、 α と NPV 比の間でトレードオフが発生しており、周期 T_f を長くするにつれて大きな安全性の確保は難しくなること、また、安全性に対する修復性のトレードオフ関係

が弱まるが、安全性に対する経済性のトレードオフ関係は変わらないこと、が分かる。これは、周期 T_f が大きくなるにつれて免震層の応答が大きくなる一方で、 T_f が



(1) R_A - α 関係



(2) NPV 比- α 関係

図-9 建物規模の違いによる比較(ケース 1・2)

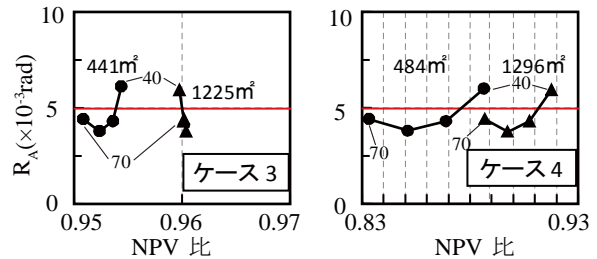
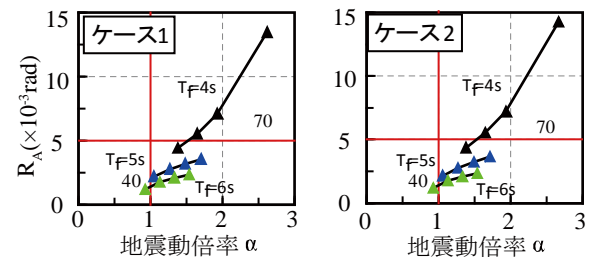
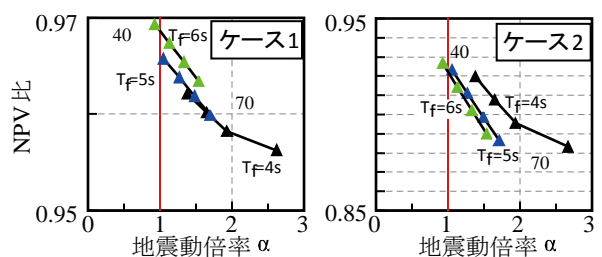


図-10 建物規模の違いによる比較 (R_A -NPV 比関係)

(ケース 3・4)



(1) R_A - α 関係



(2) NPV 比- α 関係

図-11 T_f の違いによる比較

小さくクリアランスが大きい場合だと、免震層がクリアランスに達する前に上部構造の変形が大きくなるためと考えられる。よって、周期 T_f が大きい場合はクリアランスに達するまでの地震動倍率の確認が必要であり、安全性を上昇させるためにクリアランスを大きくとる場合には、クリアランスに達する時の上部構造の変形の確認が重要になると思われる。

図-12 は 15 層、 $C_B=0.2$ のケース 5, 6 における周期 T_f の違いが平均層間変形角 R_A と NPV 比の関係に及ぼす影響を示したものである。なお、ケース 5 では建築面積 1225m^2 、ケース 6 では敷地面積 1296m^2 である。また、以降の図中の 3s, 4s, 5s, 6s は積層ゴムのみの周期 T_f を示す。ケース 5, 6 はケース 1, 2 とは異なり、地震動倍率 α を一定値 1.0 に固定して、周期 T_f を 3s, 4s, 5s, 6s とした際の、免震層の地震応答変位 δ_f に合わせてクリアランス量を変化させた解析ケースである。この図からケース 5 では NPV 比の増加に伴い R_A が減少し、ケース 6 では NPV 比の増加に伴い R_A が増加していることが見て取れる。これらのケースでは、クリアランス確保の方法によってトレードオフ関係が異なり、敷地面積を大きくする方法（ケース 5）では周期 T_f を大きくすることで経済性・修復性ともに向上させることができ、建築面積を小さくする方法（ケース 6）では周期 T_f を大きくすることで経済性に対する修復性のトレードオフ関係が発生することが分かる。これは、ケース 6 では周期 T_f が大きくするにつれて免震層の変形が大きくなり、これに見合ったクリアランスを確保するために建築面積を小さくする必要が生じたために経済性が低下したが、ケース 5 では周期 T_f を大きくさせたことによる敷地面積の増加よりも、周期 T_f に合わせてダンパー数を減少させた影響が大きいため、経済性・修復性ともに向上させる結果になったと思われる。

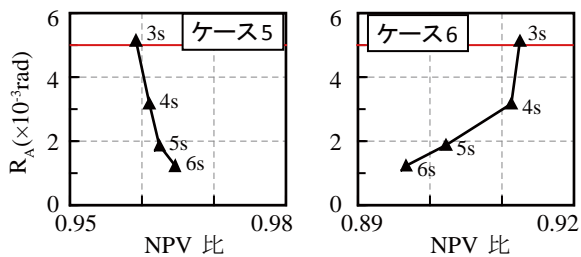


図-12 T_f の違いによる比較 (R_A -NPV 関係)

5. まとめ

免震層のクリアランスを変化させた際に発生する安全性と修復性、経済性のトレードオフ関係を、トレードオフ関係の強・弱（安全性の向上に伴い発生する損傷量及び投資価値の増減の大小）（図-1）の観点から分析を

行った。これにより次の知見が得られた。

- (1) 安全性と修復性及び安全性と経済性との間でトレードオフ関係が発生する。
- (2) 低層の方が安全性に対する修復性、経済性のトレードオフ関係が強くなった。
- (3) ベースシア係数を大きくすると、安全性に対する修復性のトレードオフ関係は弱まるが、安全性に対する経済性のトレードオフの強さはほぼ変わらない。
- (4) 建物規模が小さい建物では、安全性と経済性のトレードオフ関係が強いため注意が必要である。
- (5) 地震動倍率一定の元、クリアランスの変更に合わせてダンパー数を設定すると、 R_A が最小値を取る最適クリアランス量が存在する。
- (6) 周期 T_f を長くするにつれて安全性に対する修復性のトレードオフ関係は弱まるが、大きな安全性の確保は難しくなる。
- (7) 周期 T_f を大きくする際、敷地面積を大きくしクリアランスを確保する方法では経済性・修復性ともに向上するが、建築面積を小さくする方法では経済性に対する修復性のトレードオフ関係が発生する。
- (8) 免震クリアランスの確保では建築面積を小さくするより、敷地を大きくする方が経済的には有利である。

参考文献

- 1) 新井組技術研究部ほか：新井組技術研究報告集，第 8 号，新井組技術本部技術研究部，1995.10
- 2) 塚本勲：図とケースでわかる不動産 DCF 法，東洋経済新報社，2003
- 3) 田中佑治：性能評定・評価資料のデータベース化に基づく国内免震建物の現状について，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp.303-304，2010.9
- 4) 日本建築学会：免震構造設計指針，日本建築学会，2001
- 5) 高山峯夫：改訂版 4 秒免震への道—免震構造設計マニュアル—，理工図書，2007
- 6) 日本建築学会関東支部：免震・制震構造の設計学びやすい構造設計，日本建築学会関東支部，2007
- 7) Japan Reit DB：http://www.reitdb.com/find3.aspx
- 8) 神田順ほか：設計用地震荷重を建設費の相關に関する一考察，structure，No.58，1996
- 9) 神田順ほか：地震荷重を変動させた時の各種建築物の建設費について，日本建築学会技術報告集，1994.9
- 10) 北村春幸ほか：長周期地震動による既存免震建物の耐震性能評価，日本建築学会技術報告集，第 22 号，pp.127-132，2005.12