

連結制振による既存木造住宅の耐震補強

京都大学工学研究科 都市環境工学専攻 辻聖晃
〒606-8501 京都市左京区吉田本町
mtsuji@archi.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

既存木造住宅の耐震補強については、さまざまな方法が提案・施工されている[1]。個々の方法をここでは列挙して解説することはしないが、木造住宅に対する耐震補強法のほとんどは、木構造以外の建物に対する耐震補強の方法として開発された理論や装置を、木構造に適用できるように若干改良したものであるといえる。例外は、木構造独特の、梁柱接合部の接合角が地震時に大きく変化し、部座はほとんど曲げ変形しないという性格を利用した「仕口ダンパー[2]」くらいであると思われる。

ところで、木構造以外の建物では適用例があるのに、木構造では筆者の知るかぎり適用例が無い（検討した例[3]や、基礎的研究[4,5]はある）耐震補強の方法として、連結制振（あるいは連結制震、以下では「制振」で統一）を用いた方法が挙げられる。この資料では、連結制振の概要と、木構造に連結制振による耐震補強を実施することの妥当性検討の事例について紹介する。

2. 連結制振とは

2-1 概説

連結制振とは、複数の建物を、バネや（粘性、粘弾性、履歴）ダンパー、アクチュエータ（主として油圧によって能動的に伸縮する装置）などにより「ソフトに」連結し、いわばお互いの建物をカウンターウェイトとして用いることで、地震時や風時の応答を低減するという制振構法の一つである。研究そのものは1960年代よりなされており[6, 7, 8, 9]、既存建物の耐震補強（中低層建物が多い）や、マルチタワー形式の新築ビル（超高層建物が多い）などで採用事例がある[10,11,12]。また、超高層建物の全体曲げ振動対策として、建物外周部と内部コアを連結する方法も提案・施工されている[13]。

振動特性が同じあるいは近接した建物同士を、バネやダンパーで連結しても、ほとんど制振効果は得られないので、連結制振構法においては一般に、振動特性が相当異なる建物同士を連結することで制振効果を得る。ただし、アクチュエータを用いて能動的に制御すれば、全く同じ動特性を有する建物を連結制振することも理論上は可能である。

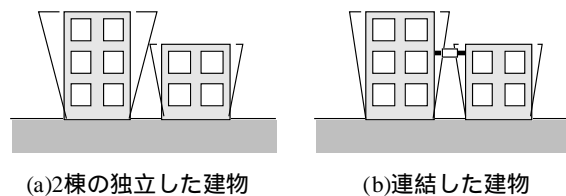


図1 連結制振

連結制振の長所と短所を列挙すると以下になるであろう。

長所：

- ・建物の内外観をほとんど変化させずに制振装置を組み込むことができる。
- ・したがって、耐震補強に連結制振構法を採用する場合、建物を使用しながらの施工も可能。
- ・個々の建物の層間変形だけではなく、隣接建物との相対変形の制御（衝突の回避）も可能。

短所：

- ・偏心の無い建物同士を連結した場合に、連結によって逆に偏心が生じる場合があるので、偏心を

生じなく（にくく）する工夫や、それが不可能な場合は立体モデルによる応答評価が不可避．

- ・ 層間変形を利用する通常の制振構法に比べて、制振効果の直感的な評価が難しい．
- ・ 連結制振では、制振効率の面から、ある特定の層のみを連結することが多く、この場合には一つの制振装置の大型化が避けられない．
- ・ 連結していない層では、連結前に比べて応答が増大することもある．

2-2 制振効果

連結制振による応答低減効果を、単純なモデルを用いて示してみる．図2に示すような、固有周期が十分に離れた二つの1自由度弾性構造物と、固有周期が比較的接近した二つの1自由度弾性構造物を、それぞれ粘性ダンパー（減衰のみを有し、バネ剛性は有しないダンパー）あるいは弾性バネで連結した場合の解析結果を以下に示す．入力地震動は、最大地動速度が25cm/secになるように振幅を調整したEl Centro 1940 NS記録地震波を用い、最大応答評価は時刻歴応答解析により行った．各構造物の減衰係数は、非連結時の減衰定数が2%となるように決定し、連結時にもこの値は変わらないものとした（この仮定が妥当なものかどうかはここでは議論しない）．連結制振のように、振動特性が異なる構造物をダンパーやバネで連結した場合には、一つのシステムとしての構造物群は非比例減衰（＝減衰行列が、質量行列や剛性行列とは比例しない）となるため、固有周期と減衰定数の評価は、複素固有値解析に基づく厳密な方法を用いた．

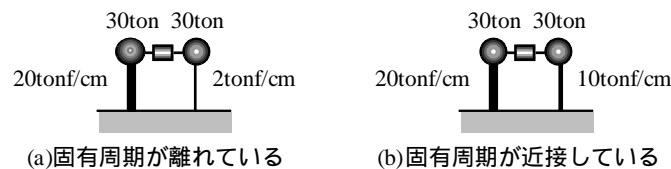


図2 1自由度構造物同士の連結

各構造物の変位，減衰定数，固有周期の変化を，図3から図6に示す．また，図7には，粘性ダンパーで連結した場合のダンパーに生じる最大の反力（最大棟間速度にダンパー減衰係数を掛けたもの）と最大棟間変位を，図8には，弾性バネで連結した場合のバネに生じる最大の反力（最大棟間変位にバネ剛性を掛けたもの）と最大棟間変位をそれぞれ示す．図より，以下のことが観察される．

- ・ 固有周期が十分に離れた二つの建物を粘性ダンパーで連結した場合（図3）には，両建物の最大変位はともに非連結時に比べて減少している．特に，固有周期の大きな（つまり変形の大きな）建物の変位の減少が顕著である．一方，固有周期の小さな（つまり変形の小さな）建物の変位は，ダンパーの減衰係数が大きくなるにつれて当初は減少しているものの，ダンパーの減衰係数がある値以上になると，増加の傾向を示すようになる．
- ・ 固有周期が十分に離れた二つの建物を弾性バネで連結した場合（図4）には，固有周期の大きな建物の変位は，連結バネの剛性の増加につれて減少する傾向にあるが，単調減少というわけではなく，局部的に増加する領域もある．一方，固有周期の短い建物の変位は，連結バネの剛性の増加につれて増加する傾向にある．
- ・ 固有周期が接近した二つの建物を粘性ダンパーで連結した場合（図5）には，両建物の最大変位はともに非連結時に比べて減少しているものの，両建物の変位ともに，ダンパーの減衰係数がある値以上になると，増加の傾向を示すようになる．また，連結制振による応答低減効果は，固有周期が十分に離れた二つの建物を連結した場合ほどは得られない．
- ・ 固有周期が接近した二つの建物を弾性バネで連結した場合（図6）には，非連結時に比べて固有周期の大きな建物の変位の方が増加し，固有周期の小さな建物の変位の方が減少している．ただしこれは，解析に用いた地震動が記録地震波であり，記録地震波に対しては必ずしも固有周期の減少＝応答の減少とはならないことに一因があるため，どのような場合にもこのようになるわけではない．

- ・粘性ダンパーで連結した場合（図3と図5）には、ダンパーの減衰係数の変化に対して建物の変位は滑らかに変化し、広い範囲にわたって単調性が成り立つのに対して、弾性バネで連結した場合（図4と図6）には、バネ定数の変化に対して建物の変位は乱高下する。
- ・棟間変位の抑制効果という観点から比較すると、粘性ダンパーで連結した場合には、固有周期の接近した建物を連結した場合（図7右）の方が、大きなダンパー反力が生じるのに対し、弾性バネで連結した場合には、固有周期の離れた建物を連結した場合（図8左）の方が、大きなバネ反力が生じる。
- ・同じ観点から、粘性ダンパーで連結した場合（図7）と弾性バネで連結した場合（図8）を比較すると、層間変位の抑制効果という観点で比較したときにみられた極端な性質の差はみられず、定量的にもほぼ同等の効果が得られる（=同じ棟間変位抑制効果を得るために必要となる連結制振装置反力がほぼ同等である）と考えてよい。
- ・粘性ダンパーで連結した場合（図3と図5）、1次減衰定数が1.0となるようなダンパー減衰係数（固有周期が離れたモデルでは0.4tonf/cmあたり、固有周期が接近したモデルでは0.6tonf/cmあたり）が、極く大ざっぱに言えば、連結制振効果の臨界点のようなものを与える。つまり、固有周期の大きな建物の側の層間変位抑制効果は、このようなダンパー減衰係数のあたり（あくまでも「あたり」である）から向上の度合いが小さくなり、固有周期の小さな建物の側の層間変位は、このようなダンパー減衰係数のあたりで、連結前に比べて増加し始める。

以上の観察を手短にまとめると、次のようなことがいえる。

- (1)連結制振は、二つの建物の固有周期が離れているほど有利である。
- (2)二つの建物の質量が同等の場合、固有周期が大きい（つまり変形が大きい）建物ほど、連結制振による応答低減効果が顕著に表れる。
- (3)粘性ダンパーによる連結は、連結された二つの建物を一つのシステムとしてとらえたときの減衰定数を上昇させる効果により、広い範囲にわたって両建物の応答を低減することができる。これに対して弾性バネによる連結では、応答を低減できるかどうかは解析してみないとわからない。
- (4)棟間変位を抑制することが目的であれば、粘性ダンパーによる連結でも弾性バネによる連結でも、同等の棟間変位抑制効果を得ることができる。

なお、蔭山ら[7]が誘導した最適制振理論を本例に適用すると、固有周期が十分に離れたモデルでの最適減衰係数は0.62tonf/cm、固有周期が接近したモデルでの最適減衰係数は0.16tonf/cmとなり、固有周期が接近したモデルに対しては、最適ダンパー減衰係数として妥当な値を与えているように思われる。一方、固有周期が十分に離れたモデルに対しては、ダンパー減衰係数を最適値とすることで確かに柔建物の最大応答はほぼ極小値となるものの、現実的にはその1/3～1/2程度の値（ダンパー減衰係数が0.2～0.3tonfs/cm）で十分な制振効果が得られているように思われる。

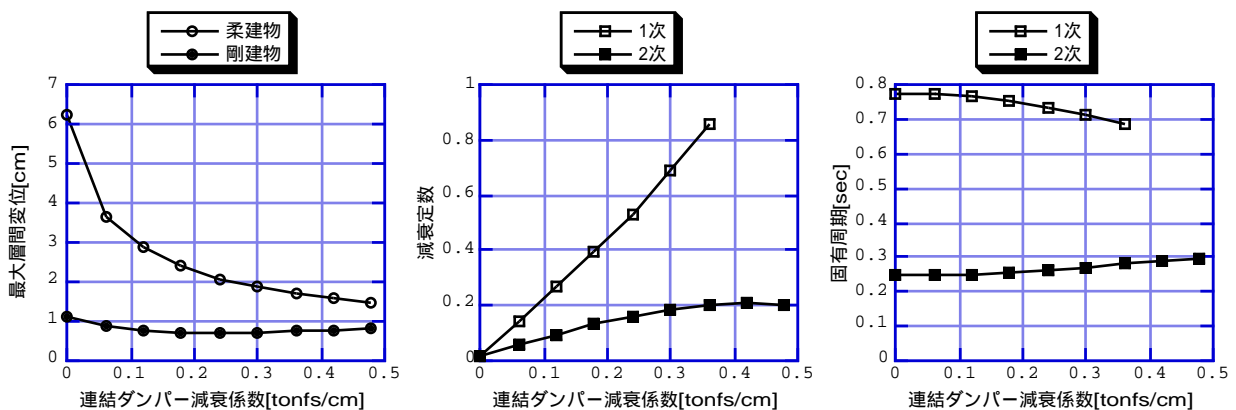


図3 固有周期が十分に離れた二つの建物の連結制振効果（粘性ダンパー連結）

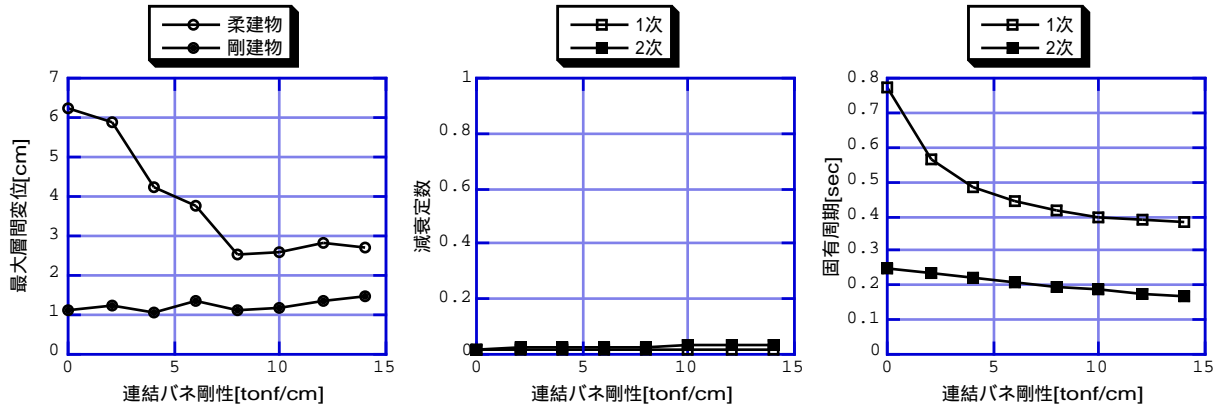


図4 固有周期が十分に離れた二つの建物の連結制振効果（弾性バネ連結）

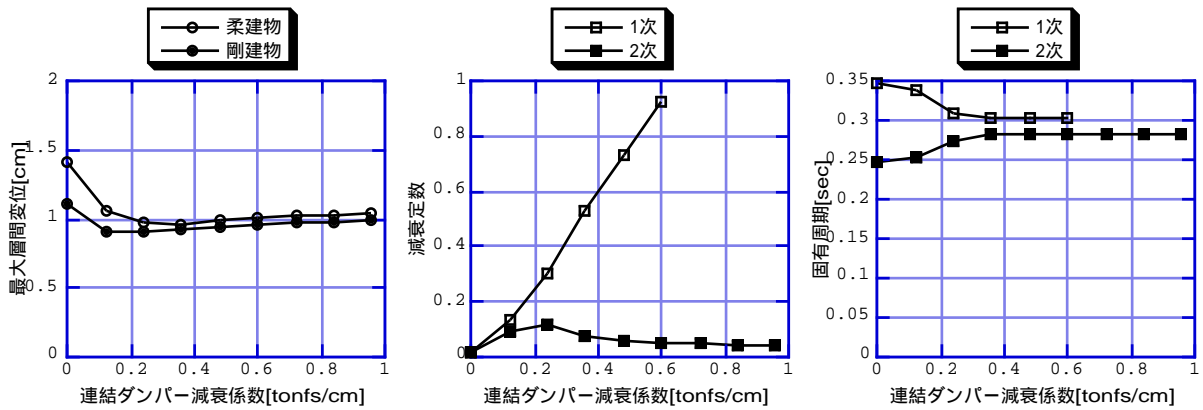


図5 固有周期が近接した二つの建物の連結制振効果（粘性ダンパー連結）

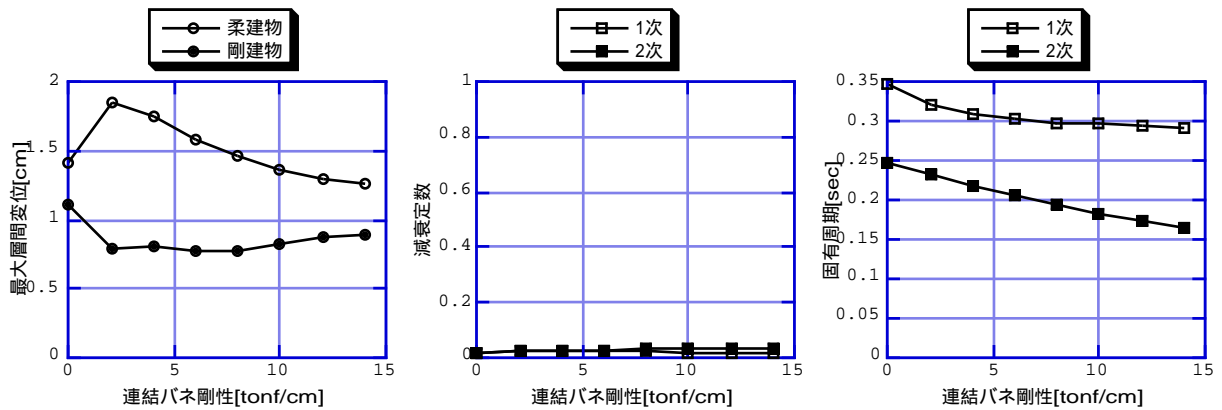


図6 固有周期が近接した二つの建物の連結制振効果（弾性バネ連結）

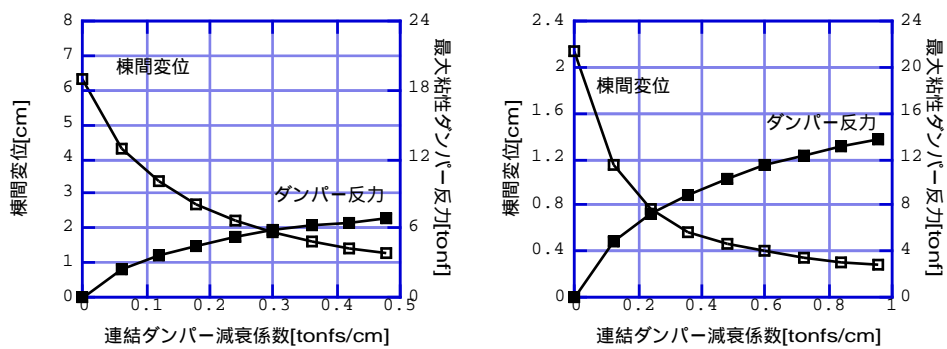


図7 粘性ダンパーの最大反力（左：固有周期の離れたモデル，右：固有周期の接近したモデル）

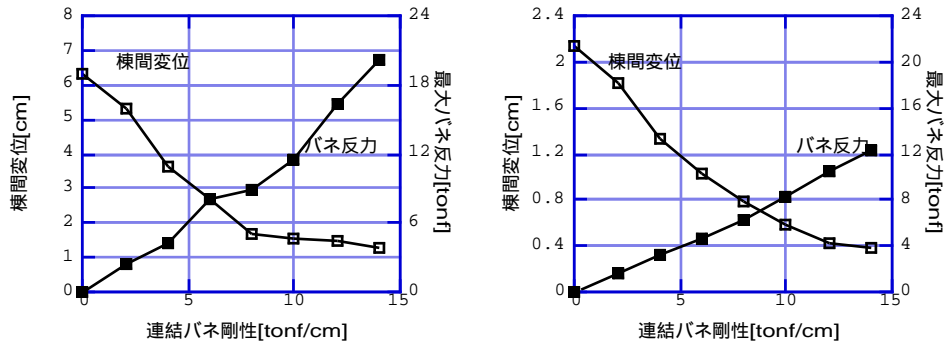


図8 弾性バネの最大反力（左：固有周期の離れたモデル，右：固有周期の接近したモデル）

ここでは示さなかったが、粘弾性ダンパーや履歴ダンパーで連結した場合には、粘性ダンパーで連結した場合の性格と弾性バネで連結した性格の両者が交じりあった性格を示す。また、El Centro以外の入力地震動に対しては、粘性ダンパーで連結した場合にはEl Centroを入力したときと定性的にはよく似た応答低減効果を示すのに対して、弾性バネで連結した場合は、入力地震動により応答低減効果にはかなりの差が生じる。

3. 連結制振による既存木造住宅の耐震補強

3-1 木造住宅への適用の可能性

前項で示したように、連結制振は、「二つの構造物の固有周期に大きな差があるほど効果的である」、「固有周期が大きく、その結果として応答が大きくなる建物の方に応答低減効果が顕著に表れる」といった特徴を有している。これはまさに既存木造住宅の耐震補強にうってつけの性格であるといえる。そこで、木造住宅の中でもとりわけ京町屋建築を対象として、連結制振による耐震補強の可能性を探ってみる。

木造住宅建物、特に京町屋に代表されるような、桁行方向に長い平面をもつ長屋形式の木造建物の構造的特徴（あるいは欠点）として、以下のようなものが挙げられる。

- ・ 第1層と第2層の層剛性のバランスの悪さ（第1層の層剛性が小さいものもしばしばみられる）。
- ・ 梁間方向と桁行方向の特性の違い（梁間方向の方が弱く、柔らかい）。
- ・ 塑性化後の耐力上昇の少なさ（ただし変形性能は大きい）。

そこで、耐震補強の目的としては、

- (1) 梁間方向の耐震性能の向上
- (2) 第1層の層間変位の抑制

を考えればよい（桁行方向の補強が必要である場合には、戸境壁構面にブレースやダンパーを組み込むのが簡単である）。連結制振は、建物の内外観をほとんど変化させることなく、このような耐震補強が可能な制振構法であるといえる。

連結制振による木造建物の耐震補強の方法として考えるものを図9に示す。図9(b)のみは梁間方向、桁行方向ともに連結制振装置が機能することを意図したものであるが、桁行方向の地震入力に対しては、連結された二つの建物一つのシステムとして考えたときに偏心が生じることになるので、立体モデルを用いたねじれ応答のチェックが不可避となる。それ以外のものは、梁間方向への地震入力のみに対して連結制振装置が機能することを意図しており、連結される個々の建物に偏心が無ければ、連結装置を対称に配置することで、梁間方向への地震入力に対しては偏心が生じないようにすることができる。桁行方向の地震入力に対しては、制振装置接続部をピン継手とすることで、二つの建物に桁行方向への相対変形が生じても、制振装置に反力が生じない（生じにくい）機構とすることができる。

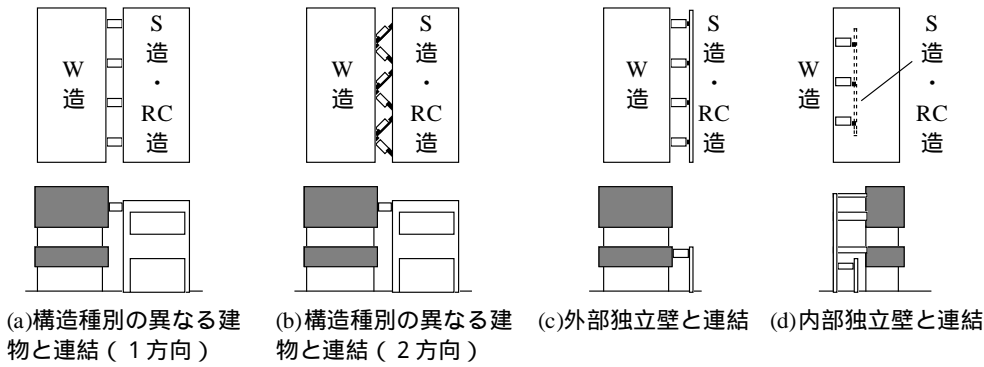


図9 木造建物に対する連結制振の各種パターン

3-2 ケーススタディー 1 RC独立壁との連結による耐震補強

連結制振による木造住宅の耐震補強のケーススタディーとして、図10(a)に示すような、京町屋の桁行方向（奥行方向）と平行に建てた独立鉄筋コンクリート壁（RC壁）と、京町屋2階床レベルとを粘性ダンパーで連結した場合を取り上げる。モデルの諸元は以下のとおり。

京町屋：2階床レベルに20ton，屋根レベルに20tonの質量が集中した2質点弾塑性系にモデル化。弾性層剛性は第1層が4tonf/cm，第2層が6tonf/cm，減衰係数は，RC壁と連結しないときの減衰定数が2%となるように決定し，連結後・塑性化後もこの値は変わらないものとする。層復元力特性は完全弾塑性型（注：木造建物の復元力特性としては不適切であるが，使用したプログラムの制約上，やむなくこのようにした）とし，降伏変位は第1層，第2層とも3.0cmとした（図10(c)）。

RC壁：質量8tonが頂部に集中した1質点弾塑性系にモデル化。水平変形に対する弾性剛性は20tonf/cm，減衰係数は，建物と連結しないときの減衰定数が3%となるように決定し，連結後もこの値は変わらないものとする。

粘性ダンパー：梁間方向の棟間変形にのみ効く。減衰係数は，振幅・振動数に関らず一定であり，リリース機構も設けない。ダンパー取付部分の剛性は十分に確保できるものとする。

入力地震動は，El Centro 1940NS記録地震波とし，地動最大速度が25cm/secおよび50cm/secになるように振幅を調整した2種類のを作用させた。最大応答評価は時刻歴応答解析により行った。

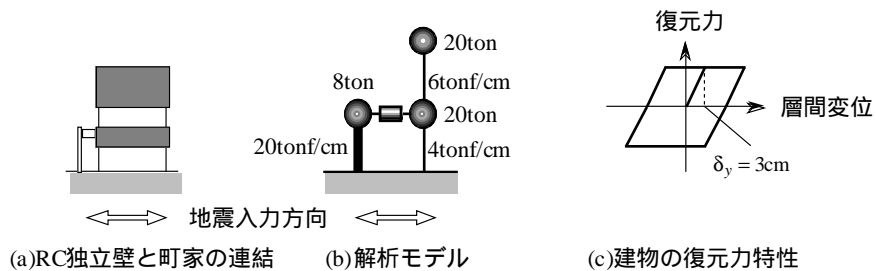


図10 解析モデル

図11には，複素固有値解析により得られた，固有周期と減衰定数の変化を，図12には，層間変位の変化を，図13には，最大棟間変位（町屋の2階床レベルとRC壁頂部の相対変形）と，連結ダンパーの最大反力の変化をそれぞれ示す。図より以下のことが観察される。

- ・ 25cm/sec入力時，50cm/sec入力時とも，粘性ダンパーによるRC壁との連結により，第1層の層間変位が顕著に減少している。一方，第2層の層間変位は，50cm/sec入力時には第1層の塑性化によるある種の制振効果があったため，粘性ダンパーによるRC壁との連結による応答低減効果はみられず，逆に非連結時に比べて応答が増大している。しかしながら，第2層の層間変位はもともと小さい値であり，粘性ダンパーによるRC壁との連結により第1層の層間変位が顕著に減少することを考えれば，建物全体の耐震安全性は，25cm/sec入力時，50cm/sec入力時とも，粘性ダンパーによるRC壁との連結により増大しているといえる。

- RC壁の最大変位は、非連結時に比べて、ダンパー減衰係数が極く小さい領域（0～0.2tonfs/cm程度まで）では低減しているが、ダンパー減衰係数が大きく、町屋側に顕著な応答低減効果がみられるような領域では増大している。しかしながら、RC壁に生じる最大変形はもともと十分小さいものであるため、このような最大変位の増大は、RC壁の耐震性能を著しく損ねるものではない。
- 第1層の層間変位が非連結時に比べて半減するときのダンパー減衰係数は0.2tonfs/cm程度であり、またそのときのダンパー反力は、25cm/sec入力時で2.5tonf、50cm/sec入力時で4.5tonf程度である。ダンパー減衰係数が0.2tonfs/cm=200kNs/mというのは、乗用車のオイルダンパー（1本あたりの減衰係数で0.01tonfs/cm=10kNs/m程度）なら20本程度で実現可能な値である。また、ダンパー反力が50cm/sec入力時で4.5tonfというのは、建物質質量（40ton）あるいはRC壁質量（8ton）から考えてもそれほど大きな値ではないし、乗用車のオイルダンパーの容量（1本あたりの最大減衰力で0.6tonf程度、20本なら12tonf）からみれば充分余裕のある値である。

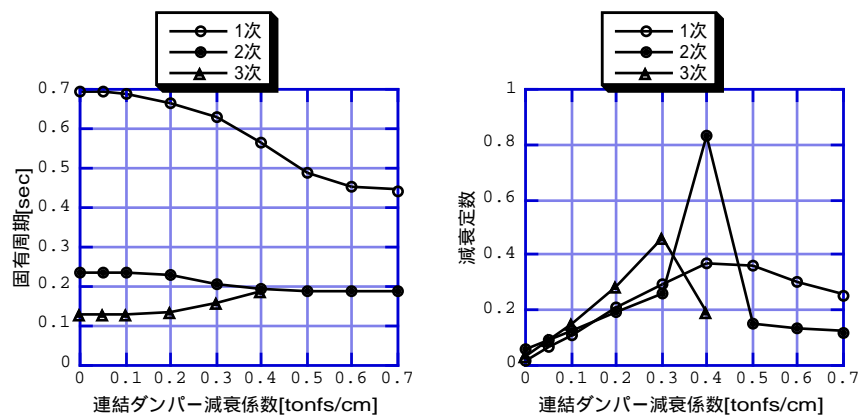


図11 固有周期と減衰定数の変化

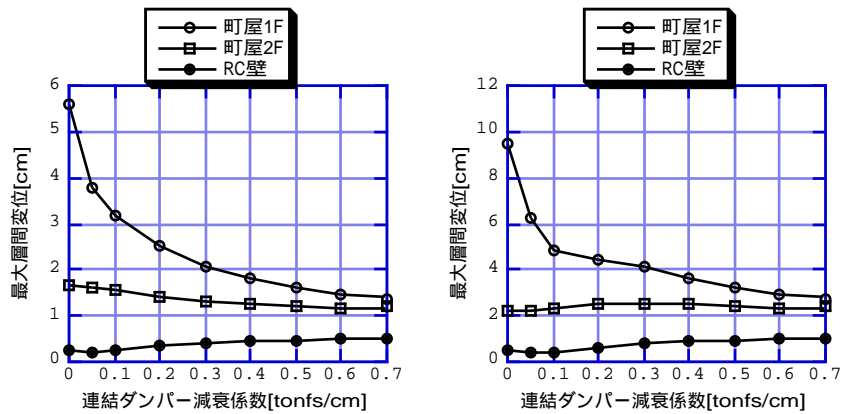


図12 最大層間変位の変化（左：25cm/sec入力時，右：50cm/sec入力時）

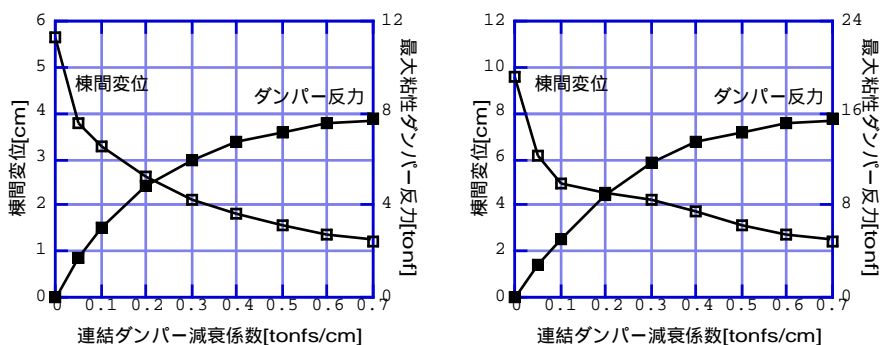


図13 最大棟間変位と最大ダンパー反力の変化（左：25cm/sec入力時，右：50cm/sec入力時）

連結制振に対する批判として、「ダンパーやバネでソフトに連結するくらいなら、がっちりつないだほうが良いのではないか」、「連結制振より、建物内部にダンパーを組み込むほうが効率的ではないか」ということをよくいわれる。このケーススタディーにおいて、この批判が正当なものであるかどうかを検証してみる。

まず、RC壁と町屋2階床レベルを剛強なバネで連結したときの層間変位および連結部分に生じる反力は以下ようになる（括弧内は非連結時の値）。

表1 RC壁と剛結したときの層間変位と反力

	町屋第1層およびRC壁	町屋第2層	連結部分の反力
25cm/sec入力時	0.73cm (5.60cm / 0.22cm)	2.05cm (1.64cm)	12tonf
50cm/sec入力時	1.46cm (9.54cm / 0.45cm)	4.78cm (2.18cm)	23tonf

この値は、「RC壁との剛結は、京町屋の耐震補強方法として全く採用の余地が無い」というほどのものではない。しかしながら、次のような欠点があるように思われる。

- ・第2層の層間変位が、連結前に比べて顕著に増大する。特に、50cm/sec入力時にその傾向が大きくなる。
- ・RC壁に生じる最大変形および連結部に生じる最大反力が、粘性ダンパーによる連結の場合に比べてやや大きくなる。

これを欠点ではなく、「許容できる範囲」とみなせるのであれば、RC壁との剛結も、京町屋の耐震補強の一つの方法であるともいえるであろう。しかしながら、少なくとも「ダンパーやバネで連結するくらいなら、がっちりつないだほうが良い」という判断は正しいとはいえない。

次に、建物内部に粘性ダンパーを組み込む場合と比較してみる。第1層の層間変位がほぼ半減するようなダンパー減衰係数である0.2tonfs/cmを、第1層と第2層に半々に分配して内部に粘性ダンパーを設置する場合（CaseA）と、層間変形の大きな第1層のみの内部に粘性ダンパーを設置する場合（CaseB）について、第1層と第2層の最大層間変位を時刻歴応答解析により評価すると以下ようになる（括弧内は減衰係数が0.2tonfs/cmの粘性ダンパーでRC壁と連結した場合の値）。

表2 建物内部に粘性ダンパーを設置したときの層間変位

	町屋第1層 (CaseA / CaseB)	町屋第2層 (CaseA / CaseB)
25cm/sec入力時	3.07cm / 2.48cm (2.52cm)	1.36cm / 1.30cm (1.41cm)
50cm/sec入力時	4.80cm / 4.49cm (4.45cm)	1.90cm / 2.32cm (2.48cm)

CaseBでの層間変位は、連結制振の場合とほぼ等しくなっていることがわかる（RC壁が完全な剛体であれば一致する）。したがって、「連結制振より、建物内部にダンパーを組み込むほうが効率的である」という判断もやはり正しいとはいえない。本数値例のように第1層ではなく高層部で連結する場合には、層間変位に比べればずっと大きな棟間変位を利用できることになるため、連結制振の方が効率的となる。さらに、建物内部にダンパーを組み込む場合には、ダンパーを上下の床に接続するためのブレースや壁の増設が不可避であるということに注意が必要である。京町屋のように、梁間方向にはほとんど壁が無いような長屋形式の建物では、内部に梁間方向に平行な壁やブレースを設置することで、内観が大きく損なわれ、建物の価値を大きく減じることになりかねないことに留意しなければならない。

3-3 ケーススタディー2 町屋同士の連結による耐震補強

先のケーススタディーのように、RCの独立壁を建物の内外に立てえない場合には、建物同士をつなぐことが考えられる。2章の解析例で示したように、連結制振は固有周期が大きく異なる建物に適用したほうが効率的であるから、木造の町屋建物には鉄骨造や鉄筋コンクリート造の耐震性能に富んだ住宅を連結するのが理想的である[3]。

ここでは、建物高さが異なることで固有周期に差があるような町屋同士を連結した場合にどの程

度の応答低減効果が得られるのかを示す。モデルの諸元は以下のとおり。

京町屋A（2階建て）：3-2で用いた京町屋と同じ。なお、弾性時固有周期は1次が0.693sec，2次が0.237sec。

京町屋B（1階建て）：屋根レベルに20tonの質量が集中した1質点弾塑性系にモデル化。弾性層剛性は4tonf/cm，減衰係数は，京町屋Aと連結しないときの減衰定数が2%となるように決定し，連結後・塑性化後もこの値は変わらないものとする。層復元力特性は完全弾塑性型とし，降伏変位は3.0cmとした。なお，弾性時固有周期は0.449sec。

粘性ダンパー：梁間方向の棟間変形にのみ効く。減衰係数は，振幅・振動数に関らず一定であり，リリース機構も設けない。ダンパー取付部分の剛性は十分に確保できるものとする。なお，ダンパー減衰係数の変動の範囲は，3-2のケーススタディーと同じである。

入力地震動は，El Centro 1940NS記録地震波とし，地動最大速度が25cm/secおよび50cm/secになるように振幅を調整した2種類のを作用させた。最大応答評価は時刻歴応答解析により行った。

図14には，層間変位の変化を，図15には，最大棟間変位（町屋Aの2階床レベルと町屋Bの屋根レベルの相対変形）と，連結ダンパーの最大反力の変化をそれぞれ示す。図より以下のことが観察される。

- ・RC壁との連結の場合に比べて，かなり小さなダンパー減衰係数の値（0.1tonf/cm）で，町屋Aの第1層の層間変位は極小値（つまり連結制振による応答低減効果が極大値）をとっている。ただしこのときの制振効果は，非連結時に比べて約2割～3割の応答減に留まる。
- ・町屋Aの第2層については，応答低減効果は得られず，ダンパー減衰係数の値が小さな領域から，非連結時に比べての応答の増大がみられる。
- ・町屋Bでは，ダンパー減衰係数の小さな領域でわずかに応答低減効果がみられる。

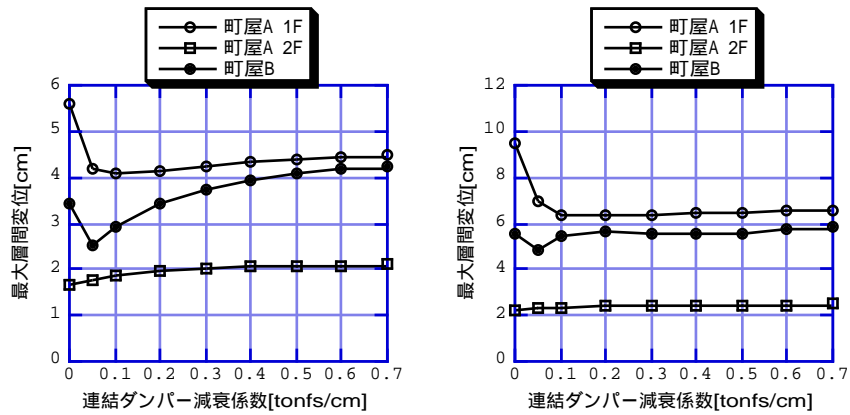


図14 最大層間変位の変化（左：25cm/sec入力時，右：50cm/sec入力時）

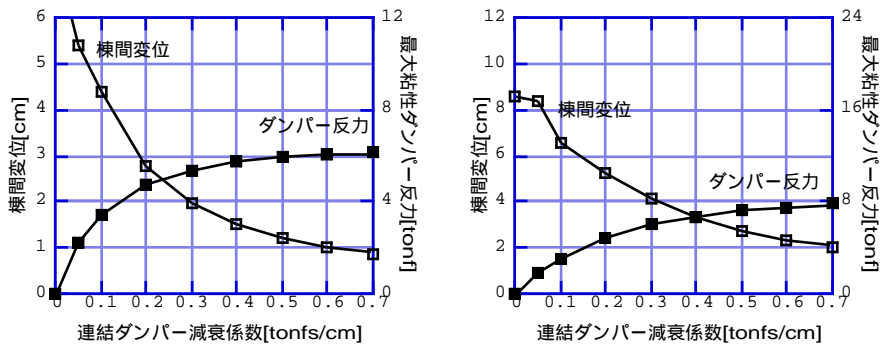


図15 最大棟間変位と最大ダンパー反力の変化（左：25cm/sec入力時，右：50cm/sec入力時）

3-4 ケーススタディーまとめ

以上のケーススタディーから得られた結果をまとめると，

- (1)第1層の層剛性が第2層の層剛性よりも小さく、第1層に地震時変形が集中するような建物の2階床レベルと、建物の桁行方向と平行に設置したRC独立壁の頂部を粘性ダンパーにより連結することで、第1層の桁行方向地震時層間変形を顕著に低減することができる。
- (2)同様の建物の2階床レベルと、その建物と固有周期が1.5倍程度異なる建物の同位置レベルを粘性ダンパーにより連結することで、第1層の桁行方向地震時層間変形を2~3割程度低減することができる。
- (3)上記の両ケースで、2層建物の第1層以外は、応答低減効果がほとんどみられないか、場合によっては非連結時に比べて応答が増加する。
- (4)塑性化により建物自身の減衰性能が大きくなって、連結制振による応答低減効果が大きく減失されることはない。

4. まとめ

本資料では、既存木造住宅建物の耐震補強に連結制振構法を導入することの可能性について模索した。結論からいえば、本資料で用いたモデル化の範囲においては、連結制振による既存木造住宅建物の耐震補強には十分な妥当性がある、となろう。しかしながら、この結論をより確固たるものとし、広い範囲にわたって連結制振構法による耐震補強を普及させるためには、以下の次項についてさらに検討・研究を続ける必要がある。

- ・動的応答解析を実行するときの木造建物のモデル化は、本資料で用いたもので妥当かつ十分か（注：資料中でも書いたように、本資料で用いた層復元力特性は、木造建物のそれとしては明らかに不適切である）。
- ・ダンパー反力を建物のどこで受けるのか。また、老朽化した木造建物が、その反力を受け止めることが可能なのか。
- ・法規上の問題はないのか。あるとすれば、どのようにすれば解決できるか。
- ・「粘性ダンパーは、履歴ダンパーや粘弾性ダンパーに比べると価格が高い」という共通認識があるようである。この認識をどのようにして打ち崩すか。

参考文献

- [1] 伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル，木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会（2004）
- [2] 木造建物に粘弾性ダンパー（仕口ダンパー）を初適用，鴻池組プレスリリース，2000年3月（<http://www.konoike.co.jp/news/2000/nr20000301.html>）
- [3] 小林広英ほか：京都都心部における防災性能を備えた木造住宅の設計手法と伝統的町家の耐震化に関する考察，日本建築学会技術報告集，第17号，355-358（2003）
- [4] 中島正愛ほか：高知能建築構造システムに関する日米共同構造実験研究（その67），日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），構造II，Paper No. 21441（2003）
- [5] 塚本渉：振動特性の異なる建物連結制震の地震応答性状と効果的な連結方法指標の研究，京都工芸繊維大学卒業論文（指導教官：辻聖晃）（2004）
- [6] Kobori, T., Yamada, T. and Takenaka, T., 'Effect of Dynamic Tuned Connection on Reduction of Seismic Response -Application to Adjacent Office Building-', *Proc. 9WCEE, Tokyo-Kyoto, Japan, V*, 773-778（1988）
- [7] 蔭山満ほか：連結された2重系構造物の最適制振，大林組技術研究所報，No.49，31-36
- [8] Luco, J. Enrique and De Barros, F. C. P., Optimal Damping Between Two Adjacent Elastic Structures, *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, 27, 649-659（1998）
- [9] 蔭山満ほか：連結制震基本モデルにおける連結パネとダンパーの最適解の誘導，日本建築学会構造系論文集，第529号，97-104（2000）
- [10] 隣接建物どうしの衝突を防止する連結制震工法（ジョイントダンパー），鴻池組プレスリリース（<http://www.konoike.co.jp/tec/gk-renketsu.html>）
- [11] 建物も連結補強で助け合い，鹿島プレスリリース（<http://www.kajima.co.jp/tech/seismic/hokyo/030625.html>）
- [12] 小池裕二ほか：連結型アクティブ制振装置の開発と高層3棟への適用，石川島播磨技報，Vol.43， No.1， pp.14-20（2003）（<http://www.ihico.jp/ihico/technology/gihou/image/43-1-3.pdf>）
- [13] フジタコンポジットタワー（FCOT）構法，フジタプレスリリース（http://www.fujita.co.jp/fujitainfo/fi_a/fi_A013.htm）