

近畿大学工学部建築学科卒業研究概要

	平成 16 年度	番号	01168016
指導教官	藤井 大地 助教授	氏名	宇都宮 敦子
題名	位相最適手法を用いた制震ブレースの最適配置に関する研究		

1. はじめに

近年、既存建物の耐震安全性を点検する動きが急速に高まっている。それは、阪神・淡路大震災で 10 万棟に及ぶ木造住宅、2 千棟に達する非木造建物が倒壊ないし大破という、日本国、近代史上まれに見る災害に遭ったことに契機している。1995 年 3 月に建設省から各都道府県宛に既存建物の耐震性向上のための施策を推進するよう通達が出されたことを受け、地方自治体が活発に動き始めている。既存建物の耐震点検は公共建物を中心に行われ、特に静岡県では、すでに県下の公共建物の点検と、その結果に基づく耐震補強を概ね完了している。しかし、静岡県のように工事が進んでいる自治体は少なく、耐震補強が必要な既存不適格建物の数は膨大に存在することが確認されており、補強工事はまだ僅かしか進んでいないのが現状である。

地震の際、人々は避難地として、公共建物、特に学校に集まる。地域の非難場所に指定されているからであるのに加え、公共建物なら、安全だろう、人が居る場所へ行こう、という心理が働くためである。地震時の人の行動パターンを利用して、学校に避難基地としての機能を兼ねさせてはどうだろうか。各学校に最低校区分の人達の数日分の食料や非常生活物資を備蓄するなどしておけば、被災時にスムーズに学校で非難生活が始められるのではないだろうか。

そのためには、学校が安全を確保しておかなければならない。本地震に耐え、さらに、余震等にも耐えうる状態に学校校舎がなければならぬ。しかし、全国の学校校舎は築年数がかさんでおり、耐震対策は必至である。学校校舎の立替えとなると莫大な、費用がかかり、近年の自治体の財政事情では厳しい状況なので、立て替えずに済む耐震補強工法が望まれる。さらに、学校、病院等、公共建物では、継続的に建物が使用されるため、工事中にも建物を使用できる補強工法（居ながら補強）が、望まれるのだが、居ながら補強は近年の補強工法であり、いまだ研究開発が次々なされている段階である。

そこで本研究では、まず、工事中にも建物を使用できる工法（居ながら補強）について調査を行った。この調査により、外付け制震ブレースが、他の工法に比較して、より有効であると考え、この工法の問題点について検討した。その結果、外付け制震ブレースは、既存架構外側に取り付くため強度・靱性の点で、小さめとなり、補強箇所を数箇所設けなければ、効果が出ないという問題があることが分かった。しかし、制震ブレースを全層間に配置すれば、振動エネルギーの吸収率が高くなり、効果が出るのではないかと考えられるのだが、それでは、必要以上に開口部分を

遮ってしまい、使用者への負担になってしまうことや、外観的にも圧迫感を与えてしまうという問題点がある。また、重量も増えてしまうので、コストが高くなってしまったり、工期期間が長くなる等、効率的ではない。そこで、本研究では、最小限の制震ブレースで、振動エネルギーを確実に吸収する、効率的な制震ブレースの配置を位相最適化手法（Otto ソフト）を用いて求める方法を検討した。

2. 既存建物の耐震補強工法¹⁾

既存建物の耐震補強工法には、さまざまな工法がある。

2.1 従来工法

2.1.1 壁の増設

コンクリート耐震壁を新設。既存壁開口の閉塞。強度を大きくするには最も有効。補強効果に対して経済的である。が、採光上の開口面積が限定され、重量が増大する。

2.1.2 鉄骨系ブレース補強

枠付き鉄骨系補強架構。偏心ブレースや鉄骨パネル補強。採光確保・重量増大や靱性の点で壁の増設より優れている。鉄骨製作期間の確保やブレースの搬入経路など配慮が必要。壁増設と比べコストが高い。

2.1.3 梁補強

脆性破壊が予測される既存梁のせん断補強を増し、靱性変形能力を改善する。隣接する耐震壁の靱性改善などに有効なため、補強箇所によっては大きく改善される。補強箇所が天井裏となるため設備配管や天井仕上げ、床仕上げと改修職種が多い。

2.1.4 構造目地補強

既存柱に取り付く 2 次壁にスリットを切って柱の変形性能を改善する。工事が簡単で安価な割には靱性の改善効果が大きい。工事が簡単のため安易に行われる可能性があり工事管理に注意が必要。

2.1.5 従来工法は、いずれにしても内部改修によるものなので、サッシュや内外装の解体・復旧、補強箇所の室内備品の移動や、移転先の確保が必要となり、使用者への負担が大きい。学校等、公共建物には、向いていない。

2.2 既存建物の耐震補強工法（居ながら補強工法）

2.2.1 基礎免震工法

建物全体を免震させるため基礎部分に免震装置を挿入する。補強方法としては建物全体を免震させるため基本的には最も優れた工法である。基礎部分の工事のため免震ピットが必要であり地下工事となって大規模な工事となる。工事費用も大きい。

2.2.2 柱頭免震工法

免震装置を柱頭部分に挿入する。地下工事が無いため工事費用の面で基礎免震に比べ有利である。免震装置より上の階は免震範囲外のため別途補強が必要。エレベーター・

階段や設備の検討も必要となる。大規模な工事となる。

2.2.3 外付け制震ブレース

居ながら補強を目的として建物の架構外側に補強ブレース等を取り付ける。内部改修がまったくない。居ながら補強を最も実現していると考えられる。

3. 外付け制震ブレースについて

外付け制震ブレースのさまざまな工法について

3.1 OFB 工法²⁾

既存の架構に鉄筋コンクリートの梁を増設した後、梁先端に金物を取り付け、これにブレース材を定着する。既存躯体、増設梁、およびブレース取付け金物には貫通口を設け、PC 鋼棒を通し緊張力を付与し一体化を図る。鉄筋コンクリートの梁を増設しなければならず、その手間と時間がかかる。

3.2 PCaPC 造耐震ブレース³⁾

プレキャストプレストレスコンクリート増ブレースを層間上下の既存梁に、 Λ 型あるいは V 型に圧着接合して地震力の一部を負担させる。地震エネルギー吸収能力が高く、建物の耐震性能を飛躍的に向上させる。プレキャストなのでハツリがなく、工事時の騒音・振動はわずか。ブレースを取り付ける既存梁あるいは周辺柱に十分な耐力余裕が無い場合はさらに鉛直方向力を伝達する補助柱を取り付けなければならない。 Λ 型、V 型であるように二辺ないと成立しないので効率的でない。

3.3 青木式制震ブレース

摩擦ダンパー(固い金属の中空部にこれよりやや太く軟らかい金属の棒を通し、両者の径差を利用して摩擦を生じさせる構造。図-1)と鋼製ダンパーで構成された制震ブレース。建物の層間上下の梁側面あるいは柱接合部に緊結した定着台と称する鋼製の部材に、1方をピン、他方を剛で取り付ける。地震時に生じるブレースの軸方向がダンパーの摩擦荷重を超えるとダンパーが滑り出し、振動エネルギーを吸収して摩擦熱に変換する。ブレースが振動エネルギーを吸収することで補強後の建物のエネルギー吸収性能が上昇し応答変位が低減する。

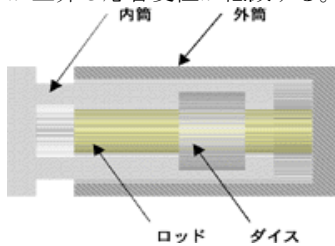


図-1 摩擦ダンパーの仕組み



図-2 取付け例

4. Otto について

4.1 位相最適化手法 (Otto) の概要

骨組構造物の最適なトポロジーを簡単に解析し、それを即時に表示できるソフトである。トポロジーとは、部材の空間的な位置と本数を意味し、構造物を設計する際に、部材をどこに何本配置したらよいかという問題に関係する。まず、GUI (グラフィックユーザーインターフェース) により、節点の位置 (座標) を入力し、それをつなぐ要素を自動生成する。そして、境界条件、荷重条件を入力し、どのくらい部材を残すか設定し、解析すればどの位置のどの部材が構造的に必要なかが表示できる。本研究では、骨組データを作成し、骨組のすべてにブレースを配置し、ブレースのみを設計対象にすることで、どこにブレースを配置していけば効率的かという解析が可能になるのではないかと考えている。

4.2 最適配置を求める

4.2.1 ある建物を例に考える

建設地: 東広島市

規模: 地上 5 階

延べ床面積: 2500 m²

階高: 4m

構造形式: 梁間方向 柱 SRC, 梁 S,SRC 純ラーメン構造
スパン 6.0、15.0m 桁行き方向 柱・梁 RC 純ラーメン構造
スパン 6.0m

仕上げ: 床スラブ OA フロア

外壁 プレキャストコンクリート吹き付けタイル

屋根 アスファルト防水押さえコンクリート

という、既存建物がある (図-3)。これに対して、位相最適化手法を用いて、制震ブレースの最適な配置をもとめていきたい。

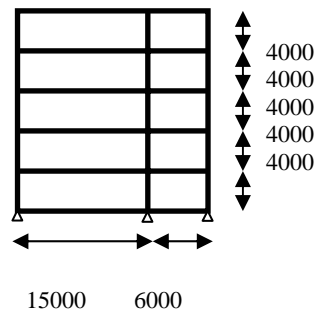


図-3 例題建物

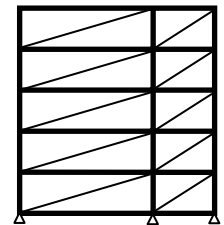


図-4 ブレース配置

4.2.1 解析 1

図-4 のように部材を入れ、どの部材を残すべきかという、位相最適化手法による解析をはじめ。残す体積によって、次図のような解析結果が得られた。

4.2.2 解析 1 の結果

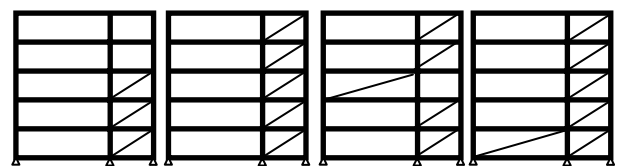


図-5

図-6

図-7

図-8

4.2.3 考察

小さい層間から補強されているのがわかる。がしかし、体積制約が厳しい場合に長い部材がでにくいのではないか。という疑いがある。

4.3 解析1の結果そして考察をうけて

4.3.1 仕事を算定し裏付ける

それを解決するために次図のように部材設定をした2モデルに対して応力解析し、仕事を求めてみる。短い部材2本で、長い部材1本相当なので、2つの配置は、同体積であるから、比較することに効果がある。図-9は位相最適化手法によって導かれた、配置である。

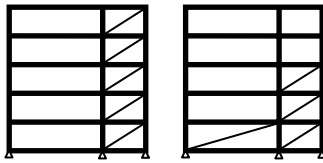


図-9

図-10

4.3.2 仕事算定結果

図-9の仕事量=90.253

図-10の仕事量=261.164

位相最適化手法によって得られた図-9の配置のほうの値が低い。つまり、位相最適化手法によって得られた配置は、体積制約に影響されていないと分かる。

4.3.3 図-7について

次図の図-7と同じ体積の配置パターンの仕事量と比較することによって図-7が最適であるかどうかを確認する。

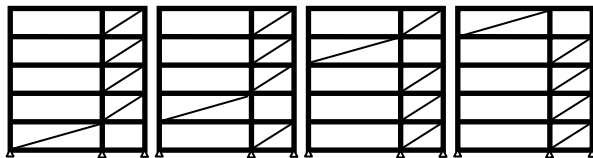


図-11

図-12

図-13

図-14

図-11=77.495

図-14=79.812

図-12=79.516

図-13=74.859

そして、図-7=74.347

図-7の仕事量の値が低い。

4.3.4 2つの検証の結果

この2つの検証により、位相最適化手法によって得られる、配置は信用できることが分かった。

5. より最適な配置をもとめる

5.1 さらに

解析1では、はじめの入力データの際に、配置する部材が一方向のみであった。部材が反対方向であったり、混在していたら、より効果が得られる場合があるのではないのだろうか。

5.2 解析2

解析2では、はじめの配置パターンを変えて、いくつか解析をして、代表的な最適解に対して、応力解析を行い、仕事を算定し、比較検討していく。ここでは、主な3

パターンをのべる、詳しくは、本論にて。

5.2.1 パターン1

解析2-1

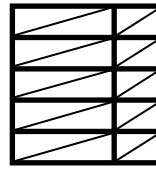
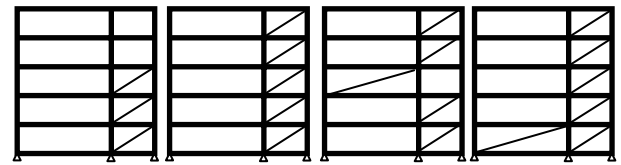


図-15

図-15のように部材を設定し、位相最適化手法による解析を行う。

体積制約ごとの解析結果&仕事量



279.599

90.253

75.030

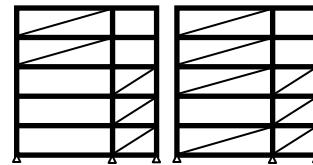
73.729

図-16

図-17

図-18

図-19



69.888

49.181

図-20

図-21

5.2.2 パターン2

解析2-2

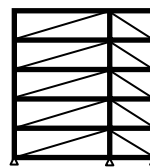
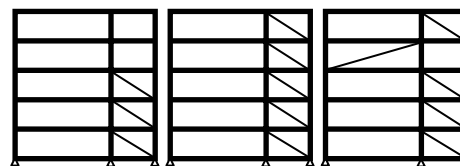


図-22

図-22のように部材を設定し、位相最適化手法による解析を行う。

体積制約ごとの解析結果&仕事量



275.027

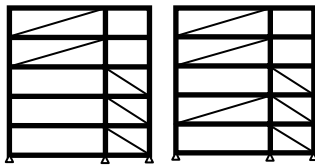
85.727

68.389

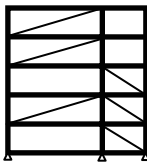
図-23

図-24

図-25



62.124
図-26



50.828
図-27

5.2.3 パターン3 解析 2-3

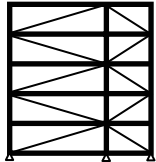
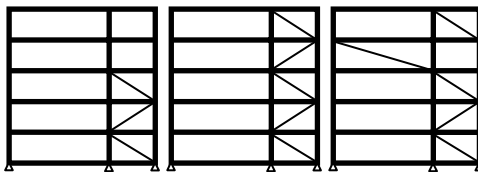


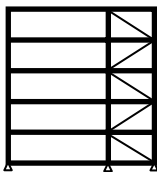
図-28

図-28 のように部材を設定し、位相最適化手法による解析を行う。

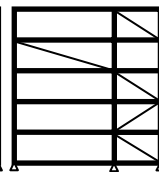
体積制約ごとの解析結果&仕事量



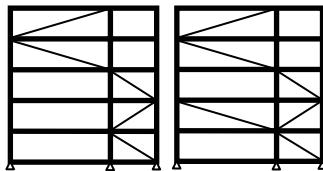
266.696
図-29



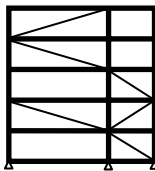
76.430
図-30



59.366
図-31



49.357
図-32



50.828
図-33

5.3 考察

図-16、図-23、図-29 についてまったく同じ配置場所であるが、図-29 が目立って仕事量の値が低い。図-17、図-24、図-30 についても同じで、図-20、図-32、図-26 についても状況である。

図-18、図-25、図-31 について短い部材 4 本と長い部材 1 本で構成されており、同じ体積であるが、図-31 が仕事量の値が低い。

どの体積制約の場合においても、仕事量の値は、解析 2-3、次に解析 2-2、そして解析 2-1 の順に低い。

解析 2-1 より解析 2-2 の値が低いのは、解析 2-2 は、2 方向の部材があり、地震時における、双方向の荷重に対して有効であるからと考える。

そして、さらに解析 2-3 の仕事量の値が低いのは、交互に方向違いで部材が入ることによって、なおかつ、連続して入ることによって、荷重を満遍なく吸収できるからと考

る。

6. まとめ

例題建物（図-3）に外付け制震ブレースによって、耐震補強を行う場合には、補強費用があまりない場合には、図-29 のようにして、もう少し費用があれば、図-30 のように外付け制震ブレースを配置する。そして、もっと費用があれば図-31 のようにという風に、位相最適化手法による解析の体積制約の緩いものを提案していけば良いことが分かった。

例題建物ではない建物を対象に考える際には、本研究により、ブレースはジグザグに、そして連続性を持たせることが良いと分かったので、それを基本に位相最適化手法による解析をスタートさせると、効果的であると考える。例題と同じように補強費用に見合った、効率的な制震ブレースの配置をもとめていくことができる。

参考文献

- 1) 東武建築企画
<http://www1.ocn.ne.jp/~tobukk/hyousi.html>
- 2) オリエンタル建設
<http://www.oriiken.co.jp/index1.html>
- 3) 青木あすなろ建設
<http://www.aaconst.co.jp/>