

■ 構造系記事

極大地震に備える

多賀謙藏・岸田明子 教授・助教／空間デザイン講座 構造デザイン研究室

昨年起きた熊本地震は震源地に近い益城町において震度7の強震動を立て続けに起こし、木造住宅を中心に多くの被害をもたらしました。新耐震以降あるいは耐震補強が施された建物にも大きな被害が生じていて、局地的とは言え法の規定を上回るレベルの地震動が観測されています。特に4月16日の本震は、内陸直下地震の特徴であるパルス性の強震動であり、図1に示すように400cm/sを超える大きな速度応答スペクトル($h=5\%$)を示しています。図2は観測された地震動に対する R_{max} 応答スペクトル(現行法に適合するような振動特性を仮定した高層建築物の最大層間変形角応答(弾性応答)を略算した結果を応答スペクトル状に示したもの)で、これによると、益城町に固有周期が1秒以上の建物があれば層間変形角が1/30を超える大きな損傷を受けていた可能性があったことを示しています。

このような内陸直下地震によるパルス性の過大な地震動に対して備えようとするものに「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会(略称“大震研”)」の研究成果があり、その中で設計検討用の地震動として示されている正弦波パルスに対する R_{max} 応答スペクトルを図2に併せて破線で示しています。大震研が提案する設計用入力地震動は、断層破壊パターンを種々仮定して計算された予測地震動の大きなバラツキを考慮してレベル設定がなされていますが、益城町の観測波はこれを上回るものであり、大阪府域における上町断層地震に対する備えは、決して特別なものではないことがわかります。

当研究室では、このような法律を超えるレベルの大きな地震動を受けた場合の建築構造物の挙動ならびにそれに対抗するための設計法の研究に取り組んでいて、そのうちの主なものの概要をご紹介します。

速度応答スペクトル

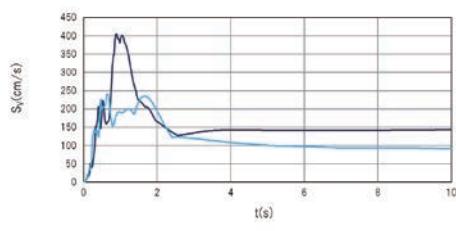
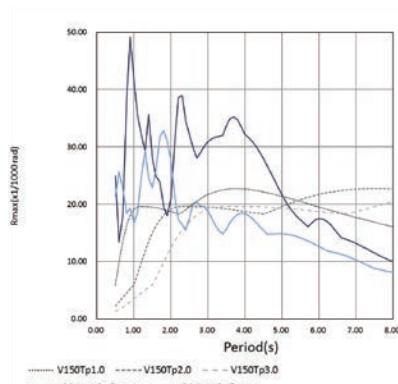


図1 益城町での観測波の速度応答スペクトル

図2 益城町での観測波他の R_{max} 応答スペクトル

実用化されはじめた高強度鋼材の有効活用についての研究

このような大きな地震動に対しても骨組みの損傷を低減するために、実用が可能となった降伏点強度の極めて高い超高強度鋼材を活用することが有効です。施工性、経済性を考慮すると、超高強度鋼材の溶接接合はできる限り避ける必要があり、フランジに高強度鋼、ウェブに従来鋼を用いた異種鋼材H形断面部材を柱に、従来鋼材を梁に用いた架構が有効となります。そこで、図3、4に示すようなフランジに950N/mm²級鋼あるいは780 N/mm²級鋼、ウェブに490N/mm²級鋼等の汎用鋼材を用いた異種鋼材H形断面部材の活用を提案し、その有効性を実験などによって確認しています。

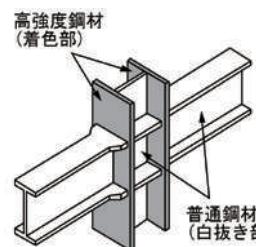


図3 高強度鋼材の活用模式図

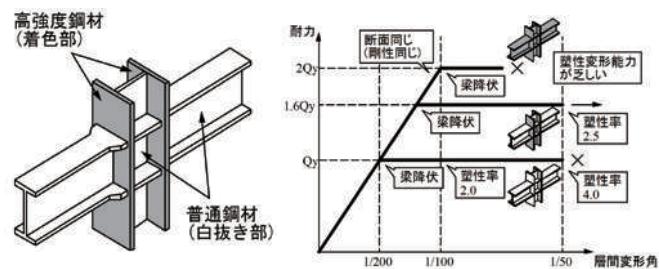


図4 高強度鋼材の活用による損傷低減の概念

擁壁との衝突を考慮した免震建物の応答低減手法に関する研究

阪神淡路大震災以降、建築構造物が地震を受けたときの被害を低減するための有効な手段のひとつとして免震構造が数多く採用されています。しかしながら、今後想定すべき海溝型巨大地震や内陸直下地震などの超大型の地震を受けたときに、免震層の変形が過大になり、とりわけ既設の免震建物では上部建物と地面側の擁壁が衝突することが懸念されます。本研究室では、図5のような免震層の応答変位と応答速度に応じて減衰力の出力が切り替わるダンパー(オンオフダンパー)を付加することによってこの現象を低減させる手法を提案しています。また、振動台実験(図6)と数値解析によりその有用性を検証しています。

地震活動期に入っている我が国において、法の規定を上回る自然の力にも対抗できる建物を少しずつでも増やしていくきっかけを作るよう、当研究室の学生諸君とともに取り組んでいるところです。



図5 実験で使用しているオンオフダンパー



図6 振動台実験の様子

■ 環境系記事

建築音環境の波動数値シミュレーション

奥園 健 助教／環境工学講座 音・光環境計画研究室

みなさんは建築の音環境について、どの程度意識したことがありますか？音は目に見えないため、多くの人は、それほど意識せずに日常生活を送っていると思いますが、しばしば、次のような経験をしたことがあるかと思います。カフェや居酒屋などの飲食店で、空間がざわざわしており、目の前にいるのに相手の声が聞き取れず、大きな声で会話しなければならない、空間の響きが長く駅や空港で案内放送や非常時の避難放送がよく聞き取れない、等々。これらは、空間の吸音不足が原因であり、吸音はコミュニケーションや安全・安心にとって重要な役割を果たします。建築で重要な意匠性を考慮した場合、内装材の多くは吸音率がそれほど大きくはないため、快適かつ安全・安心な音環境の空間をつくるには設計・計画段階で室の用途を想定した音響設計が大変重要になります。私は、室内音響設計時、あるいは、すでに音響的な問題を抱える室の音響改修時に、室の用途に応じた所望の音環境を実現するために必要不可欠な音環境の予測手法の開発やその応用について研究しています。

建築の音環境予測手法には、模型実験、幾何・波動音響学に基づく数値シミュレーションがありますが、私は主に波動音響学に基づく数値シミュレーションについて研究しています。この方法は音響伝搬の支配方程式である波動方程式を空間・時間に関して離散化し、初期条件・境界条件のもと数値的に解く手法で、物理的な観点から高精度な予測が期待できる手法です。手法としては、有限要素法(FEM)、境界要素法などが挙げられます。しかし、実務において、その適用範囲(空間・周波数領域)は未だ限定的であり広く活用されているとは言えません。実務での活用を制限する最大の問題は、対象とする建築空間の規模と周波数範囲に起因する膨大な計算コストです。波動数値シミュレーションでは、解析領域・境界を要素と呼ばれる有限個の部分領域に分割し、室内の音圧等を

計算します。計算精度確保のためには、要素長を解析する音波長の10分の1以下に設定する必要があり、波長が短い高域を対象とした場合、膨大な要素数が必要です(ルーピックキューブのようなイメージで $3 \times 3 \times 3$ のものより、 $5 \times 5 \times 5$ の方が高域まで計算できる)。また、空間の容積が大きいほど要素数が増加します。人の可聴周波数は20Hz~20kHzと広く、可聴域全体にわたる予測は講義室程度であっても容易ではありません。例えば、 300m^3 の講義室の4kHzまでの予測には、FEMを用いた場合、5億要素程度での計算が必要となります。

これまでに、この建築音環境予測に必要な計算コスト低減のため、計算音響学的アプローチ、ならびに、スーパーコンピューティング技術を駆使した様々な研究開発を行ってきました。例えば、音波長の4分の1程度の要素長で高精度な解析を実現する要素を開発し、これによれば前述の5億要素の計算が3100万要素の計算で済み、さらに、より高精度な解が得られます。また、本問題は、数学的に、連立一次方程式の求解に帰着し、計算コストの大半を占めます。我々は、この部分を20世紀のアルゴリズムトップ10の1つでもあるKrylov部分空間反復法を適用することで効率化を図っています。他にも近年発達の著しい大規模並列計算に対応したアルゴリズムも開発しています。図は残響過多な 360m^3 の講義室の1kHzにおける2s間の音響伝搬を開発した大規模並列FEMにより計算した例ですが、数時間程度(2009年当時)での計算が可能です。

以上、波動数値シミュレーションによる建築の音環境予測に関して、簡単に研究紹介させて頂きましたが、未だ解決すべき多くの課題があります。今後も、より高度な予測が可能な手法の開発と室内音響設計に活かせる知見を取得していきたいと思っています。

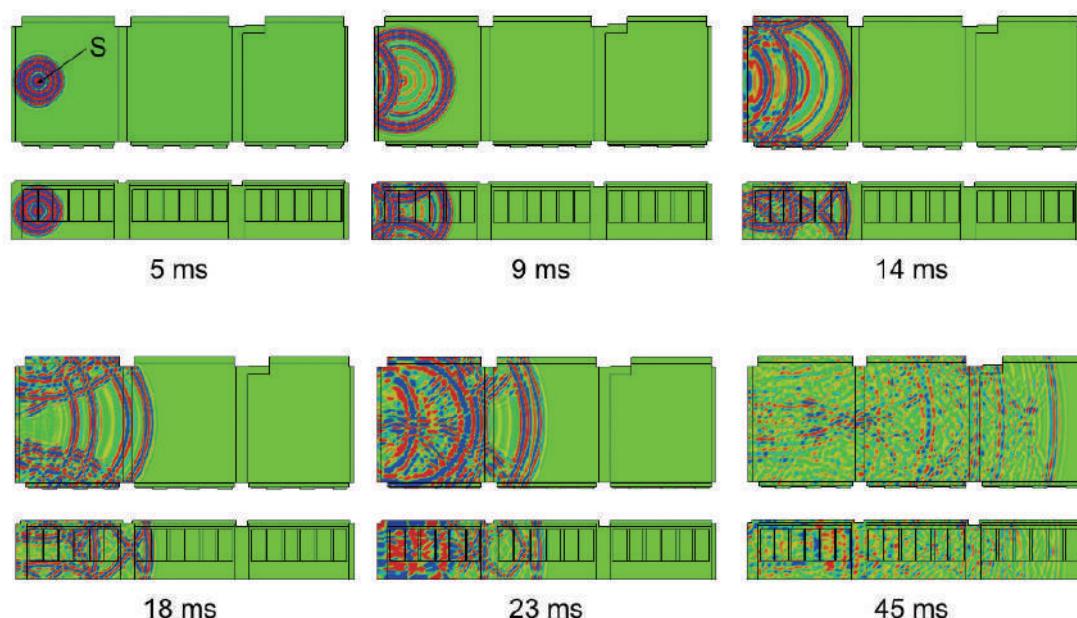


図 講義室の音波伝搬の可視化