

## 論文の内容の要旨

### 論文題目

集合住宅の基本計画および実施計画のための重量床衝撃音遮断性能の予測に関する研究

### 氏名

田中ひかり

集合住宅に要求される音環境性能のひとつである、重量床衝撃音遮断性能は、主に床スラブの厚さや梁の寸法、配置により決定される。床仕上げによる低減は期待できないため、構造設計において精度の良い予測を行い、適切な床スラブ厚を設定することが重要である。

従来、重量床衝撃音遮断性能の予測方法として、日本建築学会の「インピーダンス法」や、それを基本とした簡易な予測方法がある。これらは簡便に利用できる利点がある一方、床スラブの振動特性を単純にモデル化しているため、高い予測精度は期待できない。また鉄筋コンクリート造建物であって梁等に囲まれた一般的な大きさの床スラブの振動特性をモデル化しているため、その他の構造には適用できない。

一方、微小要素で計算対象をモデル化する数値計算を用いる方法も報告されている。これらは構造躯体の多様性や受音室への放射音の波動性に対応でき、汎用性が高い。ただし、モデル化や計算に多くの時間を要するため、度々の構造変更や住戸プランの頻繁な変更に対応することは困難である。

構造設計、特に実施設計段階以降で用いる予測方法には、実務的で精度が高く、様々な構造に対して適用できる汎用性が必要とされる。

ところで、床スラブ厚等の基本的な設定が行われる基本設計時には、住戸プランが未設定なことが多い。しかし、前述の予測法では、構造条件と共に住戸プランの条件が必要となる。また、基本設計時における検討期間は非常に短い。そのため、重量床衝撃音遮断性能の予測が行われずに床スラブ厚等の条件が決定されるのが一般的である。その結果、実施設計段階で大幅な変更が必要となることがある。

検討期間が非常に短く、室配置や寸法が決定されていない条件であっても、床スラブ厚などを適切に設定するためには、個々の室に対する精度の高い予測とは別に、建物の平均的な床衝撃音遮断性能を非常に短時間で簡便に把握する予測方法が必要である。

このような背景により、本研究では以下に示す二つの目的を掲げた。

#### (1) 個々の室を対象とした精度良い予測方法の構築

実施設計段階以降において実務的に用いることができ、かつコンクリート系の集合住宅の様々な構造に対して精度良く予測する方法を構築する。

予測方法としては、インピーダンス法の床スラブ振動特性を計算する部分に有限要素解析を

取り入れ、受音室内の音圧レベルの計算には拡散音場を仮定したエネルギー計算を用いる「FEM併用法」を採用する。その予測精度を向上させ、さらに、適用する構造範囲を鉄筋コンクリートラーメン構造以外にも広げる。また、従来のタイヤを衝撃源とした床衝撃音レベル等級に加えてゴムボールを衝撃源とした最大 A 特性床衝撃音レベルによる評価が広まる見通しであり、その予測も可能とする。

## (2) 初期構造計画のための重量床衝撃音遮断性能の簡易予測法の構築

基本設計段階において、構造設計者が音響専門家によらず、非常に簡易に重量床衝撃音遮断性能を求められる式を構築する。

一般的に、基本設定された構造条件を実施設計において変更する場合、床スラブ厚を大きくするといった、構造的な負担が増える変更を行うことは非常に難しい。またコスト面でも許容され難い。したがって、それらを避けるために、計算結果による評価が安全側となる簡易式とする。

本論文の構成と主な内容は以下のとおりである。

第 1 章では、研究の背景および目的、また、従来の予測方法について述べた。

第 2 章では、本研究で採用する予測方法である、従来の「FEM 併用法」について説明した。また、この方法の適用範囲は、鉄筋コンクリートラーメン造建物に限られており、その他の構造への適用が課題となること、そして、受音室内の音圧レベル計算にはエネルギー計算を用いるために、実際の受音室内との間には誤差が生じ、その補正方法が課題であることを述べた。

第 3 章では「FEM 併用法」の床スラブ振動特性計算部について、まず、これまでに検討されていなかった、様々な鉄筋コンクリート造建物にも適用できるモデル化方法に改良し、計算精度が高いことを確認した。また、新たに鉄骨造建物を対象としたモデル化方法についても検討し、振動計算結果が実測値とよく一致することを示した。

第 4 章では「FEM 併用法」の受音室内音圧レベル計算部のうち、タイヤを衝撃源とした床衝撃音レベル等級 (L 数) を計算する方法について述べた。インピーダンス法と同様のエネルギー計算を用いつつ、拡散音場仮定であるために生じる差を補正するため、Waterhouse 補正を施す方法を提案した。提案した方法を用いた計算結果は実測結果と良く対応することを示し、第 3 章の検討結果と併せて、改良された「FEM 併用法」を構築した。

第 5 章では「FEM 併用法」の受音室内音圧レベル計算部のうち、ゴムボールを衝撃源とした最大 A 特性床衝撃音レベルを計算する方法について述べた。

まず、バンドレベルの合成によって最大 A 特性床衝撃音レベルを求めることとし、それにあ

たつて、必要とされる周波数範囲とバンド幅を実測により検討し、バンドレベルから合成した値が直接測定した最大 A 特性床衝撃音レベルと 1 dB 以内の差で求められることを示した。

次に、エネルギー計算により受音室の音圧レベルを計算する際の補正方法について検討した。最大 A 特性床衝撃音レベルの計算では床衝撃音レベル等級よりも低い周波数帯域を扱うため、第 4 章で示した Waterhouse 補正は採用せず、実験や数値計算により、別の補正方法を検討した。検討の結果、低モード数となる周波数範囲ではエネルギー計算値との差は天井高に起因する周波数特性を持ち、モードを生じない周波数範囲においては圧力音場との差に相当する誤差を持つことを明らかにし、それらの差について補正式を提案した。また、室内の音圧分布により、実測では室内中央寄りの測定点で観測される値と室内全体の平均の音圧レベルとの間には差が生じることを説明し、この差についての補正方法を述べた。提案した方法を用いた計算結果は実測結果と良く対応することを示し、従来は予測が不可であった最大 A 特性床衝撃音レベルの予測が可能となった。

これにより、従来の床衝撃音レベル等級から最大 A 特性床衝撃音レベルへ評価方法が移行された後にも、直ちに設計時の予測を行える環境を整えた。

第 6 章では構造計画の初期段階において居室の配置が定まらない条件であっても、できるだけ最適なスラブ厚を選定できる手法について検討した。その方針として、床スラブに様々な配置された多数の室の各重量床衝撃音遮断性能の平均を把握することを考え、それが床スラブ内全範囲の平均振動特性を仮想的な室の床の振動特性として予測される重量床衝撃音遮断性能（床スラブ内平均重量床衝撃音遮断性能 HAL）で近似できることを示し、HAL を居室の配置に関わらない評価値として提案した。

様々な床スラブ寸法を設定し、数値計算により HAL への影響を調べたところ、HAL は床スラブ厚が一定であっても床スラブ平面寸法が大きいほど小さい傾向があるという結果であった。

したがって、スラブ厚の設定に際しては、最適な床スラブ厚が床スラブの平面寸法によって大きく異なることを認識すべきであり、また、床スラブを厚くすることが必ずしも性能向上に対して効果的ではないことを理解することが重要であるという知見を得た。

第 7 章では第 6 章の結果をふまえ、基本設計段階において、構造設計者が音響専門家によらなくても適正な床スラブ厚を短時間で設定できるように、床スラブ寸法等の構造条件からその床スラブに存在する室の平均的な重量床衝撃音遮断性能を簡易式で求める方法を検討した。

その結果、ゴムボールを衝撃源とした最大 A 特性床衝撃音レベルの HAL (HALA) の簡易計算式として、床スラブの 1 次固有周波数の対数を変数とした一次関数を構築した。また、タイヤを衝撃源とする床衝撃音レベル等級 (L 数) の HAL (HALH) の場合には、床スラブの 1 次から 3 次のいずれかの固有周波数の対数を変数とした一次関数に補正を加えた式を構築した。

第8章では、以上の研究成果を総括した。

以上のように、重量床衝撃音遮断性能の予測方法について検討、考察を行った。

実施設計のための予測方法の検討の結果、対象とする構造の範囲が広がり、予測精度も向上した。精度向上により安全率を大きく考えた床スラブ厚の設計を行う必要がなくなるため、不必要な床スラブ厚増加を防ぐことができる。また、施工中間時の性能確認において、あるいは竣工時性能確認において、性能が未達成となる可能性も減少するため、施工の手戻り等も防ぐことができ、実建物の設計および施工に貢献できる。

また、従来は基本設計時の時間不足や居室配置が未決定といった理由によって重量床衝撃音遮断性能の予測を行うことができなかった集合住宅においても、床スラブの寸法が決定された時点で平均的な性能を簡易に予測することが可能となった。その結果、実施設計での大幅な設計変更を防止することができる。

重量床衝撃音遮断性能は集合住宅の構造条件を決定する要素であるため、より精度が高い予測方法、あるいは非常に短時間で平均的な性能が把握できる予測方法は構造設計者によって高く望まれるものである。このような予測法が提供されることによって、構造計画の初期段階において適切な検討がなされれば、居住者へより快適な音環境の提供が可能となる。

また、本研究で得た振動解析技術や、波長に対し狭い空間における音のふるまいに関する知見は、重量床衝撃音遮断性能以外の音環境予測技術にも十分に役立つものである。今後、重量床衝撃音遮断性能以外の音環境の予測技術にも本研究の知見を活かし、よりよい音環境の創出に役立てる。