

## 床衝撃と測定方法の問題点と 関連規格\*

子安 勝\*\*  
(音響工学研究所)

### 1. まえがき

欧米諸国では、その生活様式に関連して古くから床衝撃音が住宅における重要な騒音問題として取り上げられてきた。そして最近でも、給排水設備騒音と並んで床衝撃音の計測・評価方法及び低減技術が、依然として主要な課題になっている。

一方、我が国においては、スタートは欧米に比べてはるかに遅かったが、集合住宅の急激な普及に対応して、床衝撃音の問題がクローズアップされてきた。特に子供のとびはねなどに対応した重量衝撃の問題は、計測・評価から対策に至るまでの各段階について、特徴ある発展をしてきた。

床衝撃音測定方法の問題は、床に対する衝撃源の標準化と発声音の測定方法とに帰着するということができる。こうした問題を中心にした床衝撃音の問題については、昨年夏に急逝された米国の Schultz 博士が、1981年にNBSのために作成した報告書に、その頃までの約50年間の経過がまとめられている<sup>1)</sup>。

本文では、Schultz 博士の追悼の意味も含めて、上記の報告書を参考にして床衝撃音測定方法の課題と規格の動向などを解説することにしたい。

### 2. 床衝撃音測定方法の歴史

#### 2.1 床衝撃音測定のスタート

床衝撃音測定の衝撃源として、現行のタッピングマシンと同様の考え方によるハンマー加振が使われたのは、1927年から28年にかけて米国のNBSで行われた測定が最初であるといわれている。この場合のタッピングマシンは、5個のハンマーをカムで駆動し、0.2秒ごとに1個のハンマーが床に打撃を与えるようになっていた。ただハンマー重量は推定2ポンドということだけで、詳細は不明である。

1930年代に入ると、ヨーロッパ・アメリカの各所

でタッピングマシンの試作や、これを使った床衝撃音測定実験が行われた。この段階のまとめとして、1938年にドイツで木ハンマー製のタッピングマシンを使った試験方法規格が制定されており、また1940年には米国MITから、ハンマーの配列を除いて現行の標準タッピングマシンと同一仕様の衝撃源が発表されている。

2.2 1940年代後半からISO推奨規格の制定まで  
このようにスタートした床衝撃音の問題も、第2次対戦中は中断状態にあったが、戦後直ちに研究活動が再開された。まず1946年から48年にかけて、ヨーロッパで同一床構造に対する持回り試験が行われたが、試験結果は大きな不一致を示した。そのためコペンハーゲンに全測定チームが集まり、同じ実験室における比較測定を行った結果、データの一致の程度は大幅に改善されることが明らかにされた。

こうした動向を背景にして、1948年イギリスで開催された国際標準化会議において、標準タッピングマシンを使った床衝撃音測定方法についての“ヨーロッパ規格試案”が、壁の空気音遮音性能測定方法と合わせて、第1次国際規格案として提案された。

この国際規格案については、その後10年以上にわたって多くの反論・批判がよせられ、激しい議論の対象になってきた。特に各種の床構造についてタッピングマシンで測定された床衝撃音性能の順位が、実際の靴音などに対する聴感評価の順位と一致しない場合のあることが、重要な問題点として指摘されていた。

これらの課題が完全に解決した訳ではないが、一方においては早期に国際標準化をはかることの必要性も強調された結果、前記の第1次提案に細部の修正を加えたものについてISO加盟国の賛否投票が行われ、多数の合意によって1960年に下記の推奨規格が制定公布された。

ISO R 140-1960 空気音及び床衝撃音透過の現場及び実験室測定

\* Method for Measurement of Impact Sound  
Transmission through Floor and related  
Standards-The State-of-arts

\*\* Masaru Koyasu (Acoustical Engineering Laboratory)

### 2.3 1960年～1970年代におけるISO推奨規格に対する反証と代替案の研究

上記のISO推奨規格については、制定までの経過から公布後も引き続いて多くの研究が続けられた。特にアメリカ・カナダを中心にして、1960年から70年代後半にかけて多くの研究が行われているが、この段階での研究の重点は、ISO推奨の標準タッピングマシンによる結果と主観評価との対応に向けられてきた。そしてこれをベースにして、いくつかの代替案の提案も行われてきた。

実際にASTMでは、1973年に正式な規格ではなく、「討議のためだけ」の暫定的な試験方法としてISO推奨規格を採用した。一方では、この時点までの多くの研究を集約した形で、1974年にNBSから次の二つの方法が提案された：

- (1) 仕様変更したタッピングマシンを使用する方法。
- (2) 標準化した人間の歩行(live walker)を使用する方法。

タッピングマシンの仕様については、ISOの標準ハンマーの重量過大(500g)に起因する床性能の非線形性を考慮して、より軽量のハンマー(200g)の使用が考えられた<sup>2)</sup>。

ASTMでは、1977年にこの方法を討議のための提案として取り入れた。一方ヨーロッパ諸国やカナダでも、このNBSの提案を対象にした広範な研究が行われたが、この段階ではより一層の改善の必要性が指摘されるに止まっていた。

### 2.4 ISO規格ISO 140/1～の制定(1978年)

このようにタッピングマシン(床衝撃源)の仕様を中心とした床衝撃音の測定方法について、多くの研究・調査が続けられたなかで、ISOにおける規格制定手続きが変更され、従来の推奨規格(規格番号の前にRの記号の付いたもの)を、より拘束力のある国際規格として改めて制定することになった。

ISO R 140についても、全面的な見直し・改正を行って新規格を制定することになり、ワーキンググループによって原案作成の作業が進められた。その結果、1978年に「音響 - 建築物及び建築部材の遮音測定方法」という共通名称をもったISO 140/1～の8つの規格として制定された。このうち、床衝撃音の測定方法に付いては、次の五つの規格で規定されている。

- 第1部：実験室の条件
- 第2部：精度条件の説明
- 第6部：床衝撃音の実験室測定方法
- 第7部：床衝撃音の現場測定方法
- 第8部：標準床に対する床仕上による衝撃音低

### 減の実験室測定方法

ただし、この時点では規格制定が急がれたために、いくつかの課題を未解決のまま残して規格化が行われた。そのために、いくつかの問題点については研究グループを設置して検討を続け、成案をえた段階で規格に盛り込むことを了解事項として各国の合意を取り付けたものである。

こうした課題の一つとして、タッピングマシンなど床衝撃源の仕様が取り上げられ、Schultzを主査にした研究グループが設置された。ここでタッピングマシンの仕様について、各メンバーからの提案を中心にして討議が行われたが、仕様の変更についての合意を得ることができず、当面は上記のISO 140/1に規定された標準タッピングマシンの仕様が、そのまま継承されることになった。

### 2.5 我が国における床衝撃音測定方法の標準化

はじめにのべたように、我が国における床衝撃音の問題は、欧米よりもはるかに遅れてスタートしており、1960年代までは散発的な測定が行われていた程度であった。

床衝撃音の問題が本格化するのに合わせて、1974年にJIS A 1418(建築物の現場における床衝撃音レベルの測定方法)が制定された。この段階での床衝撃音発生器としては、ISOの標準タッピングマシンがそのまま規定されていた。ただこの時点で、すでに子供のとびはね等の重い衝撃の問題が取り上げられ、自動車用タイヤの落下等の各種重量衝撃源についての研究が始められていた<sup>3),4)</sup>。そして1978年のJIS A 1418の改正で、従来の軽量床衝撃音発生器(タッピングマシン)と並んで、重量床衝撃音発生器の仕様が追加された。

こうした段階での我が国における床衝撃音測定の問題については、すでに度々解説されているので、これ以上の詳細に立ち入ることは避けたいが、さきのSchultz博士の報告書の中に、当時の我が国の床衝撃音問題に対する取り組みについての興味ある記述があるので、以下にその部分のわけを抜粋しておくことにする。

“1975年以降、日本では床衝撃音試験移管する研究が急激に増加してきた。これは、少なくとも部分的には、1975年に仙台で著者が行った改良ハンマーを使った新しい床衝撃音試験方法の発表に刺戟されたものと考えて喜んでいる。

残念ながら、著者は日本分が読めないもので、大部分の研究論文の要約を行うことができないが、床衝撃音の試験・評価方法についてさらに研究を行うつもりの人はいだれも、最近の日本の業績をよく知らなければならないことは明らかである。”

## 2.6 1980年代における動向

ISO規格の動向に対応して、アメリカのASTMでは1984年及び86年に次の2規格を制定している。

E1007-84 床天井構造及びその支持構造を通してのタッピングマシン衝撃音透過の現場測定の方法

E 492-86 タッピングマシンを使った床天井構造を通しての衝撃音透過の実験室測定の方法

これらの規格では、衝撃源として結局はISOの標準タッピングマシンがきていされている。ただし、ここではゴムヘッドのハンマーの仕様は削除された。

このようにして、多くの国でISO規格に対応した床衝撃音測定方法の国内規格が整備されてきたが、これは必ずしも床衝撃音の測定方法について、これまでのべてきた問題点、特に衝撃源の仕様の問題が解決したことを意味するものではなかった。また、ISO 140 全般についてみたとき、いくつかの国においては依然としてこれと整合性のとれない国内規格が存続し、使われてきた。

このため、1978年に制定されたISO 140 シリーズ(第2部を除く)について、全面的な見直し・改正を行い、それに対応した各国内規格の改正にあたって、整合をとりやすくすることが意図された。現在ワーキンググループによる改正原案の作成作業が進行中であるが、1992年のEC統合前までに全規格の改正を終了することが要求されているために、タッピングマシンの使用を含めた懸案事項は、今回も先送りされる見通しになっている。

## 3. 床衝撃音測定方法の課題

### 3.1 概要

床衝撃音測定方法の課題としては、直接には標準衝撃源の仕様と室内に発生した衝撃音レベルの測定方法との二つの問題があげられる。

前章では、主として標準衝撃源の問題に重点をおいて、約60年間の経過を解説したが、それと並んで発生音の測定方法の問題が重要である。特に後者の問題は、床襲撃音の評価方法に直接に関連して、重要な課題になっている。

本章では、これら二つの課題についての現状と今後の動向を整理して示す。

### 3.2 標準衝撃源(衝撃音発生装置)

#### (1) 標準タッピングマシンの課題

ISO規格に規定されている標準タッピングマシンについての課題を検討するために、主要な仕様を整理して表-1に示す。

すでに前章でのべたように、様々な曲折はあった

表-1 標準タッピングマシンの主要な仕様

項目	要目
ハンマーの配列 衝撃時間間隔 各ハンマーの実行質量 ハンマー材質 ハンマー形状・寸法 ハンマー落下方法	5個直線配列、両端距離400mm 100±5ms 0.5kg(±2.5%) 鉄鋼または銅 円筒形(直径3cm)、先端:半径50cm球状 高さ40mm(±2.5%)からの自由落下と等価(運動量に関して)

にしても、この標準タッピングマシンの仕様は50年間全く変わっていない。このタッピングマシンが提案され、使われるようになるとほとんど同時に、多くの反論がよせられ始め、常に論議的になりながら現在に至っている。

タッピングマシンの問題点として指摘されてきたことは、ハンマーの質量と落下高さで規定される衝撃力の問題に帰着するということができる。本来このタッピングマシンは、靴による歩行シュミレーションとして考えられたものであるが、実際にはその衝撃力は通常の歩行衝撃よりもはるかに大きくなっている。

こうした状況は、当初から明らかなことであったが、衝撃による発生音を測定するときの向上を優先した結果ということができる。この場合でも、衝撃力と床の応答特性との間に線形性が成り立っていれば、結果の適応性に問題はないが、多くの床構造では非線型性をもっているために、このタッピングマシンによって各種床構造の性能ランク付けを行った結果が、現実の靴音などに対する聴感的な評価の順位に対応しないという問題が生じてきたといつてよいであろう。

さらにこのタッピングマシンでは、ほぼ0.1秒の時間間隔で床に繰り返し衝撃を与え、受音室と計測系の時間積分機能を加えて、準定常衝撃騒音として発生音を測定するようになっている。これも実用的に安定した測定結果をうることは有用であるが、床面の同一点に衝撃を反復するために、カーペットなど床仕上材の種類によっては、圧密効果によって性能の変化を生ずることにもなり、衝撃力自体の問題と合わせて標準タッピングマシンの課題として指摘される。

従来我が国では、欧米との住と形式、生活様式の違いによって、床衝撃音問題の重点は子供のとびはねに代表されるいわゆる重量衝撃におかれてきたので、タッピングマシンは補助的に使われることが多かった。

これに対して最近では、住宅の床構造として木造

根太床や木製直張り床が多くなっており、それに伴ってタッピングマシンによる性能試験の必要性が増大し、今後はタッピングマシンの仕様や使い方についての検討が必要になると考えられる。

#### (2) その他の衝撃源の課題

その他の衝撃源に対する課題としては、まず我が国で JIS に規定されている重量床衝撃音発生器の問題があげられる。現在こうした重量衝撃源が標準化されているのは我が国だけであるが、これは必ずしも海外諸国に重量衝撃に対応する問題がないことを意味するものではない。

実際にヨーロッパ諸国のなかには、我が国の重量床衝撃の考え方に注目を寄せているところがあり、一部では試行的な実験や検討も行われている模様でもある。こうした中での意見を集約すると、次の2点になるといってよいであろう。

(1) 衝撃力が過大で、床・天井仕上の損傷や二次音の発生などが懸念されること。

(2) データの再現性に不安があること。

これらの問題、特に1番目の問題は JIS に規定された当初から、国内でも指摘されていたことであるが、今後この重量衝撃が国際的にも認められ、ISO 規格に採用されるようにするためには、これらの課題に対してデータを背景にした説得性のある対応を行うことが必要である。

最近になって、タイヤの設置高さや衝撃力・発生音レベルとの関係についての実験的研究<sup>5)</sup>、他種の重量衝撃源についての研究なども行われており、こうした研究の一層の発展を期待したい。

#### 3.3 衝撃音レベル測定方法の課題

床衝撃音測定精度の向上に対しては、タッピングマシンなど衝撃音発生装置の仕様と供試床上の設置位置とについての検討とともに、受信室内に発生した衝撃音レベルの測定方法についての規定が重要な条件になる。特に測定対象音が基本的に衝撃音の範囲に含まれるために、周波数分析装置の性能と使い方、指示装置の時定数などについての規定に対する注意が必要である。

現在 ISO 140/ , ATM E 492, JIS A 1418 に規定されている測定装置、測定方法の主要な事項を比較して表 - 2 に示す。

表 - 2 床衝撃音レベルの測定装置・測定方法主要規定

規格 項目	JIS A 1418	ISO 140/ ASTM E 492	ISO 140/ ASTM E 492
音圧レベル 測定器	JIS C 1502 JIS C 1505	IEC 651 Type 1	ANSI S.1.4
動特性	FAST	SLOW	
周波数分析器	JIS C 1513	IEC 225	ANSI S.1.11 Class
周波数範囲 (バンド幅)	125 ~ 4,000Hz (オクターブ)	100 ~ 3,150Hz (1/3オクターブ) 125 ~ 2,000Hz (オクターブ)	100 ~ 3,150Hz (1/3オクターブ) (研究用データとしては、50 ~ 80 Hz, 4,000 ~ 5,000 Hz測定)

ここにみられるように、周波数分析のバンド幅、指示装置の動特性などに不一致がある。これらの問題は床衝撃音の評価方法にも関係することであり、物理量としての正確な測定と評価との両面からの検討が必要であると考えられる。

#### 4. む す び

以上床衝撃音の測定方法についての、その歴史的経過と現状における課題を国際規格・国内規格の動向と合わせて紹介した。今後この問題を取り扱うときの一つの参考としてみて戴きたい。

#### 参 考 文 献

- 1) T.J.Schultz, "Impact Noise Testing and Rating -1980", NBS-GCR-80-249 (Jan. 1981)
- 2) T.J.Schultz, "A proposed new method for impact noise tests", PRoc.inter-noise 75, pp.343-350 (Sendai, 1975).
- 3) 木村翔・安岡正人: 床衝撃音遮断力の測定について, 日本音響学会講演論文集 (昭46.5) pp.253-254.
- 4) 中村俊一: 全体域レベル値 と を用いた床衝撃音の解析と評価, 日本音響学会誌 36 (1980) 79-89.
- 5) 井上勝夫・木村 翔・中澤真司: 重量床衝撃源の衝撃力特性について, 日本音響学会講演論文集 (昭63.10) pp.617-618.