

# 鉄筋コンクリート床スラブの施工品質と 有感振動評価尺度に関する調査データの統計解析

## 学位論文内容の要旨

近年、わが国の建設業界では、品質管理あるいはTQC（全社的品質管理）が導入され、その科学的な管理手法は建築部材の品質や施工精度の確保といった現場監理の運営にとどまらず、企業経営にも大きな変革をもたらした。一方、日本建築学会では、構造分野における許容応力度設計法から限界状態設計法への移行を前提とする基礎的な調査研究が重ねられており、本論の主対象である鉄筋コンクリート造（以下「RC」）床構造についても、たわみ、ひび割れ、振動といった構造挙動や、これらの変動要素である材料性状、荷重強度、施工精度などの調査統計資料に基づき床の使用性を保証しようとする使用限界状態設計法に関する研究が進められている。

本研究は主に、実在RC建物で実施したRC床スラブの構造挙動、積載荷重、施工精度に関する既往の調査データを基に探索的な解析を行い、今後の床スラブの設計および施工法の改良に役立つ基礎的な資料を整備することを目的としており、全7章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景と関連分野の既往の研究を概観し、本研究の目的と範囲を示した。

第2章「事務所庁舎建物における床構造の総合的実態調査」では、本研究で取り上げた調査項目を網羅し、かつ多数の床スラブを実測することのできた事例について述べている。調査対象はRC6階建ての事務所庁舎で、梁心スパンが6.0m×6.8m、5.6m×6.0mの2種類、1～4階が平板（厚160mm）、5、6階がドロップハンチ付きの変厚板（スラブ厚160mm、ハンチ厚230mm）である。ここでは、同一建物にあって用途、設計諸元が同じ床スラブが多様な構造挙動を示すのは、施工上、使用上の不確定要素のばらつきが大きいからであり、わずかな種類数の床スラブからなる建物の調査から、多くの種類の床スラブの実測データを収集できることを具体的に示した。

第3章「RC床スラブの施工精度—健全床スラブの場合—」では、既存建物にあって障害のないスラブの調査データと、竣工後、健全性を確認した床スラブの新築時の調査データとを整理し分析した。調査建物38、調査項目は、鉄筋間隔、鉄筋位置、スラブ厚、モルタル厚、均し状態などである。型枠の精度に左右される柱、梁、壁と異なりスラブは、厚さのばらつきが大きく、細径の補強筋は配管作業やコンクリート打設時に乱れが生じやすい。調査建物はTQC導入後の1970年代半ば以降に建てられたものが多く、最近の標準的監理状態におけるRC床スラブの施工精度を、誤差（実測値－設計値）の平均値 $\bar{x}$ と標準偏差 $\sigma$ で表すと、例えば、スラブ厚で $\bar{x}=4.6\text{mm}$ 、 $\sigma=10.0\text{mm}$ 、端部上端鉄筋の位置（有

効せい) で  $\bar{x} = -12.6\text{mm}$ 、 $\sigma = 16.0\text{mm}$ となる。いずれもスラブ厚120~155mmに対する誤差であり、設計上看過できぬ値である。

第4章「RC床スラブの施工誤差—損傷床スラブの場合—」は、建物使用者からの苦情で判明した物件の調査結果を纏めたものである。調査建物49、調査項目は、構造挙動、鉄筋間隔、鉄筋位置、スラブ厚、モルタル厚などである。ほとんどの調査建物が1970年代半ば以前に建てられており、大たわみや有感振動の発生は、当時の建築学会RC構造計算規準の不備と、前章の健全床スラブと較べ格段に落ちる施工精度との相乗効果によるところが大きい。損傷床スラブの施工誤差がスラブ厚で  $\bar{x} = -1.8\text{mm}$ 、 $\sigma = 18.2\text{mm}$ 、端部上端鉄筋の位置で  $\bar{x} = -24.4\text{mm}$ 、 $\sigma = 15.1\text{mm}$ に達することを明らかにした。

第5章「積載荷重に関する調査」では、事務所建築1、商業建築3、集合住宅3、計7件の現地調査を実施し、実積載荷重と有効積載荷重とを算出した。本論では、実積載荷重はスラブの全積載重量をスラブ面積で除した値、有効積載荷重は積載位置を考慮して求めたと同じ大きさのたわみをスラブ中央に生じさせる等分布荷重と定義している。

ここでは、実積載荷重、有効荷重ともにガンマ分布に近い頻度分布を呈し、実積載荷重の平均値は建築基準法施行令の構造用積載荷重LLの1/3以下、超過確率1.0%でほぼLLに等しく、スラブ面積が小さくなるにつれて標準偏差は大きくなる、重い積載荷重は壁際または柱近くに置かれることが多く有効積載荷重が実積載荷重の85%程度となることなどを明らかにした。

第6章「RC床スラブの振動感覚評価尺度の推定」では、床スラブの長期たわみ予測値を知って、当該床スラブの振動感覚評価尺度を簡便に推定する方法を提案している。

本章では先ず、第2章で実施した振動感覚試験に基づき、1次固有周期（1次固有振動数）、歩行時振幅、減衰定数がそれぞれ振動感覚指標値であることを確認し、次に、各指標値の推定式を求めた。RC床スラブの使用性を損なうものに、大きなたわみとひび割れ、それに有感振動とがある。これらの使用性能評価法は、建築学会RC構造計算規準の付11と付13に、それぞれ「床スラブの振動」と「長期荷重下における変形とひび割れ」として取り扱われている。前者が弾性振動を対象としているのに対して、後者はコンクリートのひび割れと時間依存性を考慮したものとなっており、両者が対象とする検討範囲には大きな違いがある。ここでは、上記学会RC規準の付11と付13との整合性をもたせることを目的として、既往の実測調査データを整理・分析し、ひび割れやクリープ変形を伴う床スラブの長期たわみ予測値と、振動感覚評価尺度である固有周期、歩行時振幅、減衰定数の関係を明らかにしている。

設計諸元が同じで損傷の程度が特に甚だしい床スラブ群では、1次固有周期が長期たわみの平方根にほぼ比例し、各群ごとの比例定数がスラブのスパン板厚比と辺長比からなる弾性たわみの指標値（旧学会RC規準スラブ厚算定式）の1次関数となることを見出した上で、損傷が中程度のものにあっては、弾性床の振動とたわみの関係を表すガイガーの重力式と上記1次関数の間で比例配分する方法を提案した。

床スラブの歩行時振幅については、固有振動数の間に強い相関関係のあることを見出し、両者の関係を直角双曲線で表している。床スラブの減衰定数については、減衰定数に影響をもたらすと思われる多くの要因特性について分析し、スラブの損傷程度の指標値となる長期たわみ倍率（長期たわみ/弾性たわみ）との間に強い相関関係があることを見出し、両者の関係を表す指数関数を提案している。

床スラブの実測たわみを長期たわみ予測値として、上記推定式から求めたの三つの振動

感覚評価尺度と振動記録との適合性を検証し、弾性振動のみを対象としている現行学会 R C 構造計算規準の付11「床スラブの振動」の適用範囲をひび割れをもつ床スラブにまで拡張し得ることを明らかにした。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 井 野 智  
副 査 教 授 城 攻  
副 査 教 授 佐 藤 馨 一  
副 査 教 授 絵 内 正 道  
副 査 教 授 佐 藤 義 治

学 位 論 文 題 名

## 鉄筋コンクリート床スラブの施工品質と 有感振動評価尺度に関する調査データの統計解析

鉄筋コンクリート造（以下「RC」）建物の床スラブは、同じ用途、同じ設計寸法であっても、ひび割れ、たわみ、振動性状に大きなばらつきが生じ、中には使用性を損なうものもある。

本論文は、持続荷重下の床スラブの構造挙動のばらつきの原因と考えられながら実態把握が必ずしも十分ではなかった施工品質と積載荷重、ならびに実用的な予測計算法が見当たらなかった振動性状について、既往データと新たに実測調査したデータを基に探索的な統計解析を行い、使用限界状態設計に役立つ基礎的な資料を整備することを目的とした研究をまとめたものである。以下に各章の要旨を示す。

第1章では、本研究の背景・目的および内容・構成についてまとめた。

第2章では、本研究で取り上げた全調査項目を網羅し、多数の床スラブについて実測することのできたある事務所庁舎を事例として、具体的な調査方法とデータの整理分析法について詳述している。

第3章では、実在建物の障害のない床スラブの調査データと、竣工後、健全性を確認した床スラブの新築時の調査データを整理分析している。調査建物は38棟、調査項目は鉄筋間隔、鉄筋位置、スラブ厚、モルタル厚、均し状態である。

型枠の精度に左右される柱、梁、壁と異なりスラブは、厚さのばらつきが大きく、細径の補強筋は配管作業やコンクリート打設時に乱れが生じやすい。調査建物はTQC導入後の1970年代半ば以降に建てられたものが多く、標準的的施工管理状態の床スラブであっても設計上無視できぬ大きさの施工誤差を有することなどを明らかにしている。

第4章は、建物使用者からの苦情で判明した大たわみや振動障害を有する床スラブの調査結果をまとめたものである。調査建物は49棟、調査項目はRC床スラブのたわみと有感振動を中心とする構造挙動と、鉄筋間隔、鉄筋位置、スラブ厚、モルタル厚の施工精度で

ある。健全床スラブの場合と比較し、損傷床スラブの施工精度は全ての項目で著しく劣っていることが示されている。

第5章では、事務所建築1件、商業建築4件、集合住宅4件、計9件の現地調査を実施し、単位面積当たりの実積載荷重と有効積載荷重とを算出した。ここでは、実積載荷重はスラブの全積載荷重をスラブ面積で除した値、有効積載荷重は積載位置を考慮して求めたと同じ大きさのたわみをスラブ中央に生じさせる等分布荷重と定義し、両者ともかなり左側に偏ったガンマ分布に近い頻度分布を示し、平均値はいずれも建築基準法施行令の床構造用積載荷重の1/3以下となることなどを明らかにしている。

第6章では、建物使用者に不快感や不安感をもたらす有感振動発生の事前チェックとして、振動感覚評価尺度となる振動数、歩行時振幅、減衰定数を簡便に推定する方法を提案している。即ち、構造挙動と施工精度に関する実測データが得られている13種類、60枚のRC床スラブについて探索的な統計解析を試み、床スラブの損傷の程度が上記三つの振動感覚評価尺度の重要な影響要因となっていることを明らかにして、損傷程度を表す指標値として弾性たわみを基準とした「長期たわみ倍率」を導入し以下の結論を得ている。

- (1) RC床スラブの長期たわみ予測値から1次固有振動数を導く近似式を導いた。
- (2) RC床スラブの1次固有振動数から歩行時振幅を導く近似式を導いた。
- (3) RC床スラブの減衰定数と損傷の程度を示す指標値である長期たわみ倍率の間には強い相関関係があり、両者の関係を指数関数で表した。
- (4) 床スラブの弾性たわみと長期たわみ予測値から、(1)~(3)に示される関係式に含まれる三つの振動感覚評価尺度を求めるとき、いずれも実際の振動記録の数値とよい対応を示す。

これを要するに、著者は、鉄筋コンクリート床スラブの設計、施工、使用にわたる品質管理についての新知見を得ており、コンクリート工学および環境振動工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。