学位論文題名

A STUDY ON THE DEFLECTION-CONTROLLED DESIGN OF
REINFORCED CONCRETE FLOOR SYSTEMS UNDER SERVICE LOADING

（使用荷重下における鉄筋コンクリート床構造の
たわみ制御設計に関する研究）

学位論文内容の要旨

近年、諸外国の鉄筋コンクリート（以下、RCと略記）構造計算規準では、材料の品質・施工精度・荷重の不確実さなどの統計データに基づき、構造物の安全性と使用性を保証しようとする限界状態設計法が在来の許容応力度法に代わるものとして採用されている。

RC床構造のたわみ制御は、たわみ、ひび割れ、有感振動等による同構造の使用性障害に対する対策を中心とする重要な使用限界状態設計課題であり、主題をなす床構造変形の様態と機構はきわめて複雑である。このような課題を解決するためには、構造解析を柱とし、構造実験データ、実在床構造挙動の実測データを併用するほか、施工法、施工精度の実態、コンクリートの時間依存性など多岐にわたる付帯要件を勘案する必要がある。

しかしわが国では、構造の長期挙動性状研究用の資料の内、特に材料特性等の系統的な基礎データの多くは国外文献に依存し、長期構造挙動調査も報告例に限られ、RC床構造の使用性を確保するための諸条件を充足させ得る公知の設計方法も十分整っているとは言えないようである。

本論文は、このような状況の改善に資するため、上記設計課題の基礎となる（１）文献および海外主要規準の通察、（２）床たわみ問題に関する実態把握、（３）信頼性の高いたわみ予測計算法の提案、（４）使用障害の生じないたわみ限度とたわみの検討を要しない床構造部材寸法の明確化、（５）施工精度、積載荷重等の統計データの整備とその分析などを目的として行った文献照査、実測調査を含む多角的な構造学的検討結果を纏めたものである。

本論文は全５章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第１章では、主題に関する内外の関連文献を通察し、その結果を参照して本研究の諸目的を具体化し、本研究分野における発展経緯の概況把握を行っている。

第2章では、ある大規模なRC事務所建築の全使用期間にわたる床たわみ障害に関する長期挙動性状調査結果の詳細を掲げ、スラブ厚仮定や、スラブの端部上ば鉄筋挿入位置の誤差といった施工状態との関連も看取した障害たわみ防止設計要目を含め、たわみ、ひび割れ、振動等が複合した様相を呈する床構造使用性障害の全容を例示したほか、設計・施工上の参考資料として障害スラブの過半数に対して行った補修・補強工事の持続効果に関する調査結果を併示している。

これらの調査は、大規模でスレンダーな床構造に見られる使用性障害の同時多発性と、補修補強の難しさを明らかにしたものであり、床スラブのたわみの経年変化、施工精度、材料性状などについての実測結果は、当該問題に対する時間的空間的制約を伴う実験的アプローチのきわめて難しいことから、次章以下の論究に現実的論拠を与える重要な資料となっている。

第3章では、主に、梁または一方向スラブによる実験結果を基に導かれた既往のたわみ計算方式を、二方向スラブ、小梁付きスラブ、およびこれらがラーメン架構に組み込まれた床構造へ適用しようとする、基本的には有限差法による弾性たわみ解析法を応用した二つの方法を提示している。

第Ⅰ法は、ACI系諸標準のたわみ計算法の各種実験概念をなるべく忠実に定式化したもので、①曲げひび割れ発生をD. E. Bransonの有効剛性式で評価し、②部材全体または部材の区分領域ごとの平均剛性を用いて初期たわみを求め、③クリープたわみにはACI法の長期たわみ乗数、④収縮たわみには同じくBransonの当該曲率の実験式を用いた。

第Ⅱ法は、第Ⅰ法の改良法で、①差分分割各節点の有効剛性をBranson式で評価し、②梁または床スラブのスパン方向の曲げ剛性が一様でない変断面部材としての初期たわみを求め、コンクリートのクリープと収縮による曲率増大を見掛け上のヤング係数低下と見なし、その長期たわみは、③クリープのみを考慮する通常の有効ヤング係数比法と、④クリープ・収縮同時考慮用のYu-Winterの実験式を用いた有効ヤング係数比法によった。

RC梁あるいは両端が単純支持の一方向床スラブに関する既往の長期載荷実験による適合性の検討では、両法共、たわみ予測値と実測値の近似度は梁が比較的良好であるのに対して、固定スラブでは過小評価する傾向が見られることから、スラブの端部上ば鉄筋定着部の伸びがたわみに及ぼす影響を検討した小森、小柳らの実験結果に着目して筆者は、同影響量を、スラブ端部の強制回転変形として処理する新たな提案を行い、スラブについても近似度の高い予測値の得られることを示す内外の実験結果や実在建物における調査データとの比較を行っている。

第4章では、主に第Ⅱ法を用いて行ったRC床構造部材に関する種々のパラメータ解析の結果を整理し、たわみ制御に有効な具体的提案を行っている。

すなわち、RC床構造部材の長期たわみを簡便に推定できるように、弾性たわみを基準とした

長期たわみ倍率の概略値が梁で3～8倍、平均約5倍、スラブで7～13倍、平均約10倍となることを示し、同比率を材丈スパン比の関数で表した。また、海外の主要規準、文献等を分析して、梁とスラブの許容たわみ勾配の限度を、それぞれ基準スパンの $1/500$ 、 $1/350$ に設定し、これを基にたわみの検討を要しない断面寸法の限度を明示している。

第5章では、床たわみ制御設計の要目である許容たわみと長期たわみ算定用積載荷重が海外の諸規準、研究報告等ではどのような値となっているかを整理したのち、きわめて使用状況が過密で、床の一部に使用障害も見られる比較的大規模な多層事務所建築床構造の総合的実測調査結果を種々分析して、積載荷重の実態を明らかにして前章における計算用諸仮定値の妥当性を検討している。また、当該実測調査における床スラブたわみの異同が、主として施工誤差の違いによることを解析的に明らかにし、床スラブの長期たわみの変動要因と考えられる規準スラブ厚規定の変遷、施工誤差、材料性状、施工荷重、積載荷重、環境条件等の影響を検討するためのパラメータ解析を行い、スラブ厚規定と施工誤差の影響が特に顕著であり、たわみが使用限界を越えるような場合には、スラブ厚と端部上ば鉄筋有効性のマイナス誤差が支配的影響要因となることを明らかにした。

おわりに、本論文の総括と結語を掲げ、今後の研究課題について述べている。

以上のように、本論文は、複合要因からなるRC床構造の長期たわみ予測計算法を提示して、同構造のたわみ制御設計に有用な多くの基礎資料を整備し、実験と調査データを主たる論拠として改訂された日本建築学会RC規準の床構造関連規定の妥当性と安全性を確認したものである。

学位論文審査の要旨

主査	教授	井野	智
副査	教授	柴田	拓二
副査	教授	小幡	守
副査	教授	角田	與史雄
副査	教授	内山	武司

鉄筋コンクリート（以下、RCと略記）床構造のたわみは、多岐にわたる影響要因によって長期的に伸展し、しばしば過大なひび割れや有感振動をとまなう使用性の障害をもたらすことが知

られている。建築構造材料の高強度化が進み、空間利用の自由度を高めるために構造スパンを大きくしようとする傾向が著しい現状では、使用状態における床たわみの制御が設計上重要となる。

本論文は、これまで十分に体系化されていなかった RC 建築床構造のたわみ制御設計法に関する提案を行ったもので、成果は以下のとおりである。

第 1 章では、主題に関する内外の関連文献を通察し、本研究分野における発展経緯の概況を把握し、本研究の諸目的を具体化している。

第 2 章では、ある大規模な RC 事務所建築の全使用期間にわたる床構造の使用性障害の全容と、設計・施工上の参考資料として障害スラブの過半数に対して行った補修・補強工事の持続効果に関する調査結果とを併示している。これらの調査は、大規模でスレンダーな床構造に見られる使用性障害の同時多発性と、補修補強の難しさを明らかにしたものであり、床スラブのたわみの経年変化、施工精度、材料性状などについての実測結果は、当該問題に対する時間的空間的制約を伴う実験的アプローチのきわめて難しいことから、次章以下の論究に現実的論拠を与える重要な資料となっている。

第 3 章では、主に、梁または一方向スラブによる実験結果をもとに導かれた既往のたわみ計算方式を、二方向スラブ、小梁付きスラブ、およびこれらがラーメン架構に組み込まれた床構造へ適用しようとする、基本的には有限差法による弾性たわみ解析法を応用した二つの方法を提示している。

第 I 法は、ACI 系諸規準のたわみ計算法の各種実働概念をなるべく忠実に定式化したものである。

第 II 法は第 I 法の改良法で、①差分分割各節点の有効剛性を Branson 式で評価し、②梁または床スラブのスパン方向の曲げ剛性が一様でない変断面材材としての初期たわみを求め、コンクリートのクリープと収縮による曲率増大を見掛け上のヤング係数低下と見なし、その長期たわみは、③クリープのみを考慮する通常のヤング係数比増大法と、④クリープ・収縮同時考慮用の Yu-Winter の実験式を用いたヤング係数比増大法によっている。

既往の長期載荷実験に両法を適用してみると、いずれも、梁または両端単純支持一方向スラブの場合の適合性は良好であるが、両端固定一方向スラブでは過小評価する嫌いがある。スラブ筋定着筋の伸びの影響を検討した既往の実験結果に着目した筆者は、同影響量をスラブ固定辺の強制回転変形として処理する新たな提案を行い、固定辺をもつスラブについても、近似度の高い予測値の得られることを示す、内外の実験結果や実在建物における実測データとの比較を行っている。

第 4 章では、RC 床構造部材に関する種々のパラメータ解析の結果を整理し、まず、RC 床構

造部材の長期たわみを簡便に推定できるように、弾性たわみを基準とした長期たわみ倍率の概略値を材丈スパン比の関数で表すとともに、同倍率が梁で3～8、スラブで7～13程度となることから、同倍率を16と仮定して導かれた現行 RC 規準スラブ厚決定式の安全性を検証している。

つぎに、内外の諸規準、研究報告等を分析し、梁およびスラブの許容たわみをそれぞれスパンの $1/500$ 、 $1/350$ と設定し、これらをもとに長期たわみの検討を要しない断面寸法の限度を提示している。

第5章では、海外主要規準における長期たわみ算定用積載荷重値と、比較的大規模な多層事務所建築における積載荷重調査データとを分析し、床構造の長期たわみ検討用採用値を、設計用積載荷重の $1/3$ ～ $1/2$ 程度としても十分安全なることを示した。また、大たわみの生じやすいスラブについて、積載荷重のほかに、学会 RC 規準スラブ厚規定の変遷、施工誤差、材料性状、施工荷重、環境条件を変動要因とするパラメータ解析を行い、長期たわみに及ぼす各要因の影響量を明らかにしている。

これを要するに、本論文は複合要因からなる鉄筋コンクリート建物における床構造の長期たわみ予測計算法を提示し、同構造のたわみ制御設計上有用な多くの基礎資料を整備したもので、建築構造学およびコンクリート工学上寄与するところ大である。

よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。