

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 22 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760460

研究課題名(和文) 余寿命推定を目的とした既存建築物の構造体コンクリート残存強度評価システムの構築

研究課題名(英文) Remaining life prediction of existing reinforced concrete structures

研究代表者

佐藤 幸恵 (SATO, Sachie)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：70408714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：経年した鉄筋コンクリート造建築物を対象に、構造部材および非構造部材における強度分布及び各種耐久性調査を実施した。通常、使用中の建築物の調査・診断は非構造部材のコア採取等が行われる。しかし、雑壁などの非構造部材と、柱や梁などの構造部材の品質の違いについては情報が少なく、明らかにされていない。本研究では、構造部材と非構造部材の品質を分析し、統計的な関係を示した。また、個々の建物の品質変動に及ぼす要因は、建築当時の施工方法による影響が大であることを明らかにし、施工方法と年代による変動係数を算出した。

研究成果の概要(英文)：In this study, to evaluate the compressive strength of existing reinforced concrete structures by the statistical characterization, compressive strength of structural members were compared with non-structural members by core sampling. The construction technology at the time of the completion of these buildings has a large effect on qualities of concrete. As a result, the distribution of concrete properties for the prediction of remaining lifetime of structures was presented.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：構造体コンクリート強度 中性化 仕上げ材

### 1. 研究開始当初の背景

増加の一途をたどる住宅ストックなどの既存建築物の活用は、今日の日本の経済状況、人口現象を抱える現状においては今後ますます重要な位置を占めると考えられる。鉄筋コンクリート造建築物は、学校建築や集合住宅など、建築ストックとして長期的に有効活用が求められる構造物が多く、ある時点で持ちうる性能、コンクリートにおいては強度で代表される評価指標を的確にとらえ、その後の使用に耐えうるかどうかの残存性能を明確化することが求められている。

### 2. 研究の目的

鉄筋コンクリート部材中のコンクリート強度は、垂直方向、水平方向で異なり、壁などの薄い部材は外環境の影響を受けやすいことなどが知られている。とくに、柱部材などの鉛直部材では、柱頭と柱脚部で強度の相違が大きいことが示されており、構造部材としてのコンクリート強度をどの部位の強度で代表させるかは明確な答えはなく、構造体コンクリート強度は概念的な統計値として定義される。

使用中の建築物の調査では、通常は構造的に問題がなく、使用性、美観を大きく損なわないような箇所からコア供試体が採取され、一般的には雑壁などが採取箇所となる。これまで明らかにされてこなかったのは、雑壁のような非構造部材のコア強度の持つばらつきと圧縮強度は、柱や梁、スラブなどの構造部材のばらつきは、どのような関係にあるのか？という点である。平均値などで代表される圧縮強度は、部材形状、部位、環境条件によって異なるため、雑壁から採取したコア供試体強度で安全側の評価がなされるかどうかは不明である。よって、構造部材と非構造部材のコア強度の統計的な相関性を見いだすことは、今後の耐震・耐久性診断において重要な課題である。そこで、本研究では、非構造部材から採取されたコア供試体の強度から構造体コンクリート強度が求められている現状に対し、既存実構造物の構造部材および非構造部材から採取したコア供試体の強度分布を統計的に比較検討し、非構造部材で構造体を評価する場合の評価係数を算出するものである。また、補助的な位置づけで行われる反発度や透気性が、構造体コンクリートの中性化や含水状態によりどの程度影響を受けるかを実験的に検討すること、ならびにコア強度との相関性を分析することにより、構造体コンクリートの材料学的な経年変化を考慮した強度評価しうる指標として提案し、既存構造体の残存強度性能評価手法を構築する。

### 3. 研究の方法

本研究は、実構造部材におけるコンクリート品質の変動状況を調査により明らかにし、次の点について評価・検討を行う。

(1) 構造部材と構造部材それぞれから採取したコア供試体強度の統計的関連性を見いだ

すことにより、既存建築物の構造体コンクリートの保有強度を評価する。

(2) 表層部分のコンクリートに対する各種の非破壊・微破壊試験方法を実施し、材料の経年変化を考慮した構造体コンクリート強度評価手法を提案する。

本研究で調査した鉄筋コンクリート造建築物は4物件であり、いずれも築40年以上経過し、解体されることが決定し、本研究期間中に使用中止し解体された物件である。通常の使用中の建築物の構造部材からコア採取をすることが出来ないため、解体時を利用しての調査とした。一般的には雑壁などの非構造部材のコア強度から耐震強度などの構造性能を判定しており、本研究では診断に用いる供試体と構造部材の品質の比較が重要な要素となる。

### 4. 研究成果

建設年代の異なる複数の建築物の構造部材・非構造部材から採取したコア供試体から、それらの統計的関係、ならびに中性化との関係、部位や方角での強度変動を調査し、影響度を評価した。

コンクリート強度分布に及ぼす影響は、各年代における施工技術と大きく関連することを明らかにした。具体的には、ほとんど建設年代の変わらない3棟の建築物での事例を挙げると、いずれもコンクリート強度は、 $210\text{kg}/\text{cm}^3$  (約  $21\text{N}/\text{mm}^2$ ) と設定され、施工方法がバケット打ちとポンプ工法の違いがある。建物Aは1966年竣工、RC造地下1階地上7階建て、建物Bは、1970年竣工、SRC・RC造地下1階地上8階建て、建物Cは1964年竣工、RC造地上5階建てである。

建物A,Bの強度分布を比較すると、竣工年が近く、設計基準強度の設定値が同じであるが、設計基準強度との関係において、建物Bの強度が設計基準強度を下回る供試体があり、平均強度そのものが  $20.5\text{N}/\text{mm}^2$  となり、設計基準強度とほぼ近い値となった。平均値となる場合、採取したコア強度が50%の確率で設計基準強度を下回ることになる。現在のコンクリートの調査設計手法では、強度補正值や不良率を考慮した割り増しを行っているため、設計基準強度を下回ることがほとんど無いように設計されている。また、強度管理材齢は材齢28日から91日までの間で所定の強度を満足するように設計されているため、91日以降の強度増進分を考慮すると、実強度は設計基準強度よりもかなり高くなるのが一般的である。ただし、その後の経年変化によって強度の低下などが生じる可能性もあるため、設計基準強度を下回る確率が0とは言い切れないが可能性は低いと考えられる。

建物Aについては、今回採取したコア供試体全てが設計基準強度を上回る強度を示し、平均強度は  $41.2\text{N}/\text{mm}^2$  となった。建物Aはバケット打ちであり、ポンプ工法などの方法で生じるいわゆる横流しのような施工がなく、

豆板などの施工不良部は認められなかった。

これらのことから、A,B 二つの建物の違いは施工方法や施工品質に影響を受けたと考えられ、良好な施工が行われていれば、コンクリートそのものの劣化が原因で RC 建築物の寿命が決まることはなく、供用期間中に経験した地震力による部材耐力の低下などによって決まると考えられる。いずれのルートにより評価するかは、一次診断でのひび割れ評価に基づいた建築物のフレーム全体の状況からの判断をする必要がある。

バケット打ちによる施工の建物 A については、南北面からコアを採取して比較している。その結果、北面のほうが大きな変動を有したが、南北面での平均強度に大差はなく、方位による影響は小さかった。

次に、建物 C における方位別強度分布を調査した結果、北面の壁強度が高く、南面のコア強度が低い結果となった。西面はその中間であった。建物 C は、壁式構造であり、全てが耐震壁 (EW) から採取されたコア供試体である。建物 C の南側には、日影となる建物がなく、日射の影響を大きく受け、気温変動や乾湿繰り返しなどの作用により品質変動があったものと考えられる。

各階について 3 本以上のコア供試体が採取できた建物 A および建物 C については、強度分布における標準偏差が 7.5 および 6.0 N/mm<sup>2</sup> と類似の結果となった。壁部材と柱部材では強度分布に大きな違いがなく、非構造部材によって構造躯体の強度を評価することは十分に可能であると考えられる。

一方、採取本数が少なかった建物 B では標準偏差が 3.7 N/mm<sup>2</sup> と小さくなったが、コア採取本数が少ない状態では強度予測の精度が低下することが想定される。

階高による分布では、建物 A,B については地階から 5 階までは階が上がるごとに強度が高くなり、最上階では若干強度が低くなる傾向が見られた。建物 C では上階に行くにつれ強度が低くなる傾向があり、建物全体としての平均値を評価する場合は、中間階または中間階の直下階がその建物の平均的強度を評価出来ると考えられる。また、ヤング係数は、建物 A,C についてはほぼ JASS5 によるヤング係数の計算式の  $\pm 50\%$  以内となった。建物 B については、強度に対してヤング係数が小さく、コンクリート品質に問題があったと推察された。前述した内容と関連するが、施工技術の変遷をひもとくと、1960 年代は我が国においてコンクリートポンプ工法が普及し始めた頃であり、建物 B ではコンクリートポンプ工法が採用されたことがわかっている。コンクリートポンプ工法導入当初は、ポンプの性能に起因する不具合が多発し、配管内の閉塞事故などが生じた。そのため、加水などが行われるなどコンクリートの品質を損なわせる行為が施工に行われたことが言われており、今回も歴史的経緯から推測してそういった行為があった可能性が高いことが示

唆された。

中性化速度係数の分布とコア強度の関係を検討した結果、圧縮強度との相関性は低く、傾向が見いだせなかった。これは、モルタル仕上げやタイル張りなど、打ち放し部が少ないため、仕上げ材による中性化抑制効果が影響したためと考えられる。また、仕上げモルタル厚さと中性化速度係数との関係より、仕上げモルタルの厚さが概ね 20mm 以上であれば、中性化速度係数は 1 以下となり、仕上げモルタルが比較的粗であっても躯体保護性能は確保されると考えられる。

すなわち、仕上げモルタルの厚さを非破壊、微破壊試験等で測定できれば、躯体の中性化速度係数を予測できると考えられる。現在改修か解体かの判断に迫られている築 40 年以上の建築物は、モルタル仕上げや吹付けタイルなどの仕上げ材被覆が多く、中性化の観点から寿命が判定されないことがあり、その場合は構造体強度および構造体強度から推定される構造耐力や構造ひび割れ等の状況による判定ルートを採用することになる。

本研究の範囲では、中性化が寿命判定要素となることはなく、コア強度あるいは経験した地震力に起因するひび割れ等の部材損傷状況が RC 造建築物の残存寿命推定要素となりうるということが明らかとなった。

今後の展望として、本研究で対象とした建築物よりも竣工年の新しい建物では、打ち放しコンクリート仕上げが増加しているため、中性化の進行が残存性能推定要因に及ぼす影響度合いを継続した調査事例蓄積によって得る必要がある。それらの調査結果から中性化を寿命評価要素するかが定まると考えられる。いずれにしても、竣工年代が寿命判定要素の選定に多大な影響を及ぼしており、施工技術の歴史的観点からの整理とデータベース化が望まれる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

庭野究, 今本啓一, 佐藤幸恵, 陣内浩, 仕上げ材を有する既存構造物に対する非破壊透気試験による中性化抑制効果の評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 35 巻, 2013, 1861 ~ 1866

中井明日香, 今本啓一, 佐藤幸恵, 清原千鶴, 築 40 年以上経過した既存鉄筋コンクリート造建築物の構造体コンクリート強度および中性化特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 36 巻, 2014, 1285 ~ 1290

〔学会発表〕(計 4 件)

雨宮菜, 田中章夫, 庭野究, 中井明日香, 今本啓一, 清原千鶴, 佐藤幸恵, 築 40 年以上経過した鉄筋コンクリート造建築物に関する調査研究, 日本建築学会大会学術講演会, 2013.8.30-9.1, 北海道大学

中井明日香，田中章夫，庭野究，中井明日香，今本啓一，清原千鶴，佐藤幸恵，築 40 年以上経過した既存鉄筋コンクリート造建築物の耐久性に及ぼす仕上げ材料の影響とその評価，日本建築仕上学会 2013 年大会学術講演会，2013.10.17-18，東京大学

野口貴文，今本啓一，濱崎仁，兼松学，寺西浩司，佐藤幸恵，早野博之，田村政道，同潤会上野下アパートに関する調査研究 その 1：概要，日本建築学会大会学術講演会，2014.9.12-14，神戸大学

中田清史，濱崎仁，野口貴文，佐藤幸恵，西尾悠平，同潤会上野下アパートに関する調査研究 その 2：強度・ヤング係数，日本建築学会大会学術講演会，2014.9.12-14，神戸大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 幸恵 (SATO, Sachie)  
東京都市大学・工学部建築学科・准教授  
研究者番号：70408714