

## 東北地方の既存建築物のコンクリート強度に関する調査研究 CONCRETE STRENGTH OF EXISTING BUILDINGS IN TOHOKU DISTRICT

最知正芳\*1, 三橋博三\*2, 田中礼治\*3, 四戸英男\*4, 柴田明德\*5

Masayoshi SAICHI, Hirozo MIHASHI, Reiji TANAKA,  
Hideo SHINOHE and Akenori SHIBATA

In this paper, properties of compressive strength in aging concrete are deduced from the examined data collected through the seismic diagnosis. The data were taken from examination on core samples removed from existing RC buildings. Through the statistical analyses on those data, following findings were obtained:

1. The distribution of the compressive strengths could be expressed by a log normal distribution curve.
2. The relative compressive strength expressed as percentage of the specified design strength was 1.28, and the percent defective was approximately 30 percent in average; the former was lower and the latter was higher than those of the companion data in Kanto and Kansai districts.

**Keywords :** concrete, existing structure, quality evaluation, lognormal distribution, strength,  
コンクリート、既存建築物、品質評価、対数正規分布、強度

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート建築物のような、コンクリートを主要材料とした建築物の建設中には、コンクリートの試験が行われ、圧縮強度等に関するデータが確保されることが多い。それらの試験はほとんどの場合、打設された各部のコンクリートが設計時に設定された性能を満たしていることの確認を目的としている。

建築工事標準仕様書 (JASS5)<sup>1)</sup> では、構造体コンクリートの圧縮強度の検査について、工事現場で試料を採取して作製した円柱供試体の圧縮強度試験によって行うことを規定している。

ただし、工事現場内の水槽中で養生された供試体の強度 (現場水中養生強度) であっても、実際には施工や養生の状態によってコンクリートの品質が大きく変動することから、それを構造体の中のコンクリート強度を表わすものとして捉えることには無理があるとされている<sup>2),3)</sup>。実際にはさらに経年に伴う品質の低下が加わることになるため、コンクリートの品質が竣工当時とはかなり異なったものとなることは十分に考えられる。

コンクリートの強度が施工や養生の状態、および経年によって大きな変化を来す可能性があるということは、それらの要因が地域性とも密接に関わっていることから、構造体コンクリートの強度についても、地域性が色濃く反映されてくるものと解釈できる。留意すべき地域性としては、寒冷・温暖などの気候的な要因が代表的なものとして挙げられるが、地域で使用されている骨材の品質や供給事情、さらには寒中・暑中コンクリートの適用に見られるような、

地域による施工方法の特殊性なども考えられる。

社会基盤としての建築物のストックが増大している今日、構造体コンクリートの品質実態に関する情報を得ることは、それらの維持・管理上からも肝要な事柄になっている。そのため、既存建築物から実際にコアを得て行なわれる調査は、構造体の圧縮強度の現状に関して、極めて有用な情報を提供することになるものと考えられる<sup>4)</sup>。そのような調査の結果は、調査報告の形で従前より度々公表されているが、対象となった建物は特定の地域に限定されているものが多い。また、そのように地域が限定された調査報告によってもたらされる情報は、当該地域に特有の状況を伝えるものとして捉えることが必要である。そのような観点からすれば、既存建築物の構造体コンクリートの現状についての情報は未だ十分とは言えず、さらに多くの地域について、情報の収集が行なわれることが望まれる。

東北地方についても、これまでに既存建築物のコンクリート強度に関しては、県のレベルを超えるような包括的な調査報告はなされていない。同地方の地域性について見れば、本州の北端に位置する関係上、積雪・寒冷地として捉えられ、寒中コンクリートの適用期間が北海道に次いで長い。また、骨材の品質が良くない地域と言われており、構造体コンクリートについても他地域とは異なった性状を示すことが考えられる。

筆者らは東北地方の RC 造建築物の耐震診断および耐震補強に関する調査研究<sup>5)</sup>を通して、既存建築物から抜き取られた 2000 本を超えるコアの圧縮強度に関するデータを収集する機会を得た。本研究

\*1 東北工業大学工学部建築学科 助手

\*2 東北大学大学院工学研究科 教授・工博

\*3 東北工業大学工学部建築学科 教授・工博

\*4 東北工業大学工学部建築学科 教授

\*5 東北文化学園大学科学技術学部環境計画工学科 教授・工博

Research Assoc., Tohoku Institute of Technology

Prof., Graduate School of Engineering, Tohoku University, Dr. Eng.

Prof., Tohoku Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Tohoku Institute of Technology

Prof., Tohoku Bunka Gakuen University, Dr. Eng.

はそれらをもとに、東北地方における既存建築物のコンクリートの圧縮強度に関する現状について、他地域との比較を通して考察する。

## 2. 調査の概要

データのベースとなっているのは、耐震診断を目的として既存の建築物から採取されたコア供試体（以後、「コア」と表記）の個々の圧縮強度であり、公的試験機関の試験によって得られた値を東北5県（青森、岩手、秋田、宮城、山形）の耐震診断実務担当者の協力のもとに収集したものである。調査では福島を除いた東北5県からデータを収集することができたが、本論文ではさらに、コアが抜き取られたコンクリートの設計基準強度についてのデータが得られていた岩手、秋田、宮城、山形の4県（以後、単に「4県」と表記）を対象を絞り、検討を加えた。なお、各県名は順不同にA県～D県として表記するものとした。

## 3. コアのデータの概要

### 3.1 コアの本数

本論で検討の対象となったのは、1341本分のコアのデータである。それらは合計161棟の建築物から抜き取られており、圧縮強度、およびそれに付随する関連項目の値で構成されている。

表-1にコア本数とコアが抜き取られた建築物の棟数を県別に示す。図-1にはそれぞれの県別占有率を示した。コアの本数の県別占有率と建築物の棟数の県別占有率は全く同率であった。C県の占有率が66%と高いのは、同県の場合、県レベルで行われた調査のデータの他に、耐震診断を独自に進めていた某市の調査データが含まれていたことによる。

### 3.2 建築物の種類

図-2に検討対象となったコアが抜き取られた建築物の種類別占有率を示す。表-2にはその詳細を示した。建築物は地方公共団体が所有あるいは管理する公共建築物であり、学校建築物が半数以上を占めて最も多い。次いで多かったのは地方総合庁舎や警察署などの庁舎であり、学校建築物と庁舎で全体の77%を占めている。コアの抜き取り位置は記載事項や図面から判断する限り、耐震壁などの壁体がほとんどであった。

### 3.3 建築物の建設年（コアが抜き取られたコンクリートの製造年）

図-3にコアの本数を当該コアが抜き取られた建築物の建設年別に分類したものを示す。同図より4県のコアのデータは、ほぼ1960年から1980年にかけて製造されたコンクリートのものであり、中でも1970年代のものが多くことがわかる。

1970年代は、コンクリートの施工技術が急速に進歩し、また、コンクリートに関係する規基準類の改訂などがあったことで特徴付けられる。具体的には、1960年代後半よりレディーミクストコンクリートが主流となり、1970年代ではコンクリートポンプによる圧送工法が普及し、コンクリート打設工事の省力化・効率化が進んだ。この間、1968年にレディーミクストコンクリートのJISの改正、1977年に細骨材中の塩化物物量規制などが実施されている。1970年代後半から1980年代にかけては、塩化物やアルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化が問題とされた時期でもある。

図-4に1960年代と1970年代について、県別占有率を示す。1970年代はC県の占有率が高く、ほぼ2/3を占めている。

表-1 コアの本数とコアが抜き取られた建築物の棟数

|     | A県  | B県  | C県  | D県 | 4県   |
|-----|-----|-----|-----|----|------|
| コア数 | 216 | 147 | 889 | 89 | 1341 |
| 棟数  | 25  | 17  | 108 | 11 | 161  |

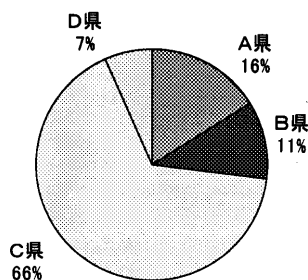


図-1 コアの本数および棟数の県別占有率

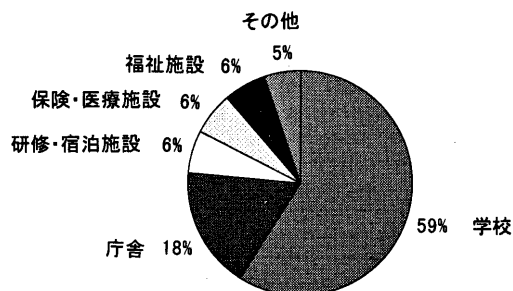


図-2 コアが抜き取られた建築物の種類別の占有率

表-2 コアが抜き取られた建築物の種類

|         | A県 | B県 | C県 | D県 | 4県 |
|---------|----|----|----|----|----|
| 学校      | 22 | 4  | 21 | 10 | 57 |
| 庁舎      |    | 10 | 6  | 1  | 17 |
| 研修・宿泊施設 |    |    | 4  | 2  | 6  |
| 保険・医療施設 |    |    | 4  | 2  | 6  |
| 福祉施設    |    |    | 6  |    | 6  |
| その他     |    |    | 4  | 1  | 5  |
| 計       | 22 | 14 | 45 | 16 | 97 |

コアの試験時の材齢は、コアが抜き取られた建築物の棟によって異なっているが、材齢に関するデータが得られていたA・B県について見ると、A県で17～41年、B県では20～37年となっていた。

### 3.4 コアのコンクリートの設計基準強度

図-5にコア(1341本)のコンクリートの設計基準強度 (Fc) 別占有率を示す。同図より、データの大部分が設計基準強度 180kg/cm<sup>2</sup> (以後、「Fc180」と略記) と設計基準強度 210kg/cm<sup>2</sup> (以後、「Fc210」と略記) で構成されていること、Fc210が60%と、全体の半数以上であること、Fc180未満のものは2%と、ごく少数であることなどがわかる。Fc180未満のもの種類としては、Fc120、Fc135、およびFc150であり、何れも1960年前後に建築された建築物(3棟分・27本)のコンクリートであった。

図-6にFc180とFc210について、県別占有率を示す。C県のデータの占有率が何れのFcについても高く、特にFc210では80%を占めている。

図-7に各県別に設計基準強度の占有率を示す。C県を除いてFc180の占有率のほうが高くなっており、B県ではFc180未満も含めると78%を占めている。

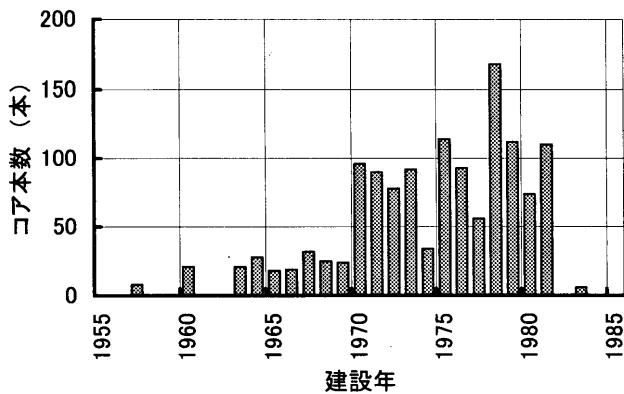


図-3 コア本数の建設年別分布

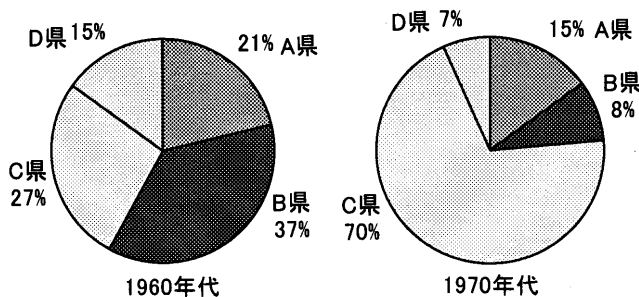


図-4 コアの県別占有率 (1960年代と1970年代の比較)

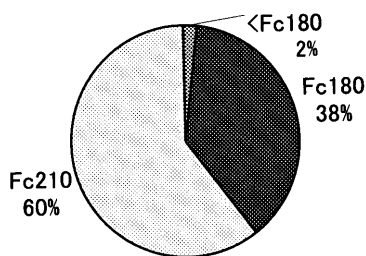


図-5 コアの設計基準強度別占有率

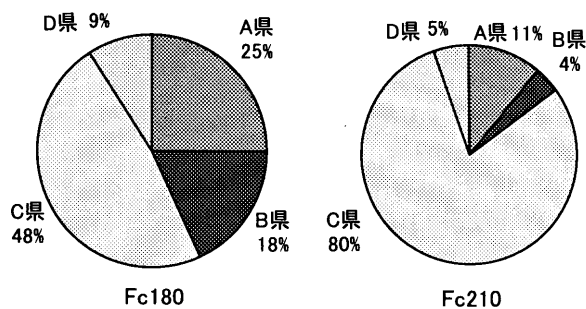


図-6 コアの県別占有率 (Fc180とFc210の比較)

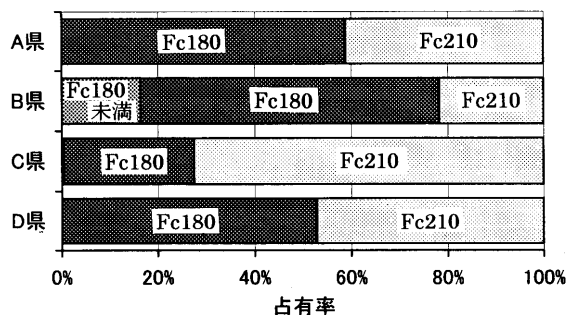


図-7 コアの設計基準強度の県別占有率

#### 4. コアデータの分析

コアから得られたデータの分析は、各県から収集されたデータが圧縮強度を主体とするものであったため、圧縮強度に関連する項目に絞られる。本章では、圧縮強度、圧縮強度比(コア強度/設計基準強度)を中心として、建設年とも関連付けながら検討を行なう。

##### 4.1 圧縮強度

図-8にコアの圧縮強度の概要を設計基準強度ごとに示す。黒丸印は平均値、上下に延びた線分はそれぞれ1標準偏差の値を示している。Fc180未満のものはデータ数がFc180やFc210のものに比べて極端に少ないので参考値である。圧縮強度の値は、コアの圧縮試験によって得られた最大応力度にJISA 1107に規定されているコアの高さと直径の比による補正係数を乗じたものである(以後、単に「圧縮強度」と表記)。同図に示されるように、Fc135以外の設計基準強度では、平均値が設計基準強度の値を上回っており、Fc180とFc210では、それぞれ226kgf/cm<sup>2</sup>と270kgf/cm<sup>2</sup>であった。また、変動係数は何れも30%程度である。ただし、平均値から標準偏差を差し引いた値は、何れも設計基準強度の値を下回っており、全ての設計基準強度において、少なからぬ確率で圧縮強度が設計基準強度の値を下回っていることが窺える。

図-9に圧縮強度の概要をFc180とFc210について、県別に示す。A, B県のFc210を除いて、何れも平均値から標準偏差を差し引いた値が設計基準強度の値を下回っており、Fc180は全ての県で、Fc210でも2県で16%を超える割合で設計基準強度を下回るものが生じていることがわかる。

図-10にFc180とFc210について、4県の圧縮強度のヒストグラムを示す。分布の形状は、設計基準強度付近をピークとした山形となっているが、裾野の広がり、左右対称ではなく、高強度側に長い裾を引いている。歪度がそれぞれ0.63と0.51となっており、右に歪んだ分布であるため、平均値と分布のピークの位置は一致しない。また、このような分布の場合、平均値よりも低い圧縮強度のところに最頻値があるため、単純平均のみで圧縮強度を評価すると、強度の値を過大評価する傾向が生じることになる。このような右に歪んだ分布に対して統計的な分布を当てはめるとすれば、普通の正規分布よりも対数正規分布の方が適している。両分布の確率密度関数は、それぞれ式(1)と式(2)のように表わされる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad (1)$$

ここに、

$f(x)$ : 正規分布の確率密度関数

$x$ : 確率変数

$\mu$ : 母平均

$\sigma$ : 母標準偏差

$$f'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y \cdot x} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(y-\bar{y})^2}{\sigma_y^2}\right] \quad (2)$$

ここに、

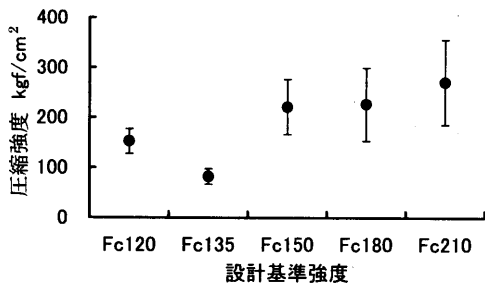


図-8 圧縮強度の概要 (設計基準強度別)

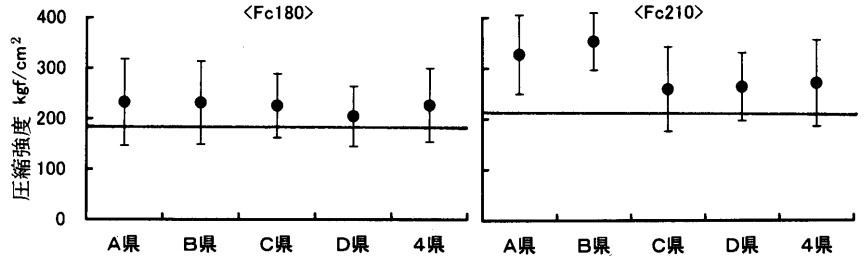


図-9 圧縮強度の概要 (県別)

$f'(x)$  : 対数正規分布の確率密度関数  
 $x$  : 確率変数  
 $y$  :  $\ln(x)$   
 $\bar{y}$  :  $y$  の平均値  
 $\sigma_y$  :  $y$  の標準偏差

図中に示した折れ線は、式(2)をもとに、計算により求めた度数(以後、「期待度数」と表記)を表わしている。図より、実際に得られた度数(以後、「実績度数」と表記)は期待度数と良く一致していることがわかる。

図-11 に県別および設計基準強度別に圧縮強度のヒストグラムを示す。特にC県とD県の圧縮強度の分布は、対数正規分布に良く適合している。

既存建築物からコア抜きされたコンクリートの圧縮強度の分布に関しては、建築物内の圧縮強度が対数正規分布に従うという報告例<sup>6),7)</sup>があり、また、Mirza<sup>8)</sup>らは変動係数の大きいコンクリートの強度については、対数正規分布が良く適合することを指摘している。何れにしても、既存建築物からコア抜きされたコンクリートの圧縮強度に対数正規分布を示す傾向が認められるのは、本論の例に限ったことではない。

#### 4.2 圧縮強度比 (コア強度/設計基準強度)

##### (1) 分布の想定

図-12 に4県の「コア強度/設計基準強度」(以後、「圧縮強度比」と表記)のヒストグラムを設計基準強度別に示す(Fc180未満のものは数が少ないため除外)。各ヒストグラムは圧縮強度と同様に右に歪んだ形状を呈しており、歪度は図-12の(a),(b),(c)それぞれについて0.54、0.63、0.51であった。各図には対数正規分布の期待度数の曲線(以後、「対数正規分布曲線」と表記)を併せ示した。ヒストグラムの実績度数と対数正規分布曲線は何れも近接しており、圧縮強度比についても圧縮強度と同様に対数正規分布で近似できるものと考えられる。

圧縮強度比の分布形状については、他の文献<sup>9),10)</sup>中にもヒストグラムが右に歪んだ形状となっていて、類似した傾向が読み取れる図が散見されるが、必ずしも明確なものとはなっていない。

Fc180とFc210の平均値は普通の正規分布のピークにあたる単純平均では、それぞれ1.26と1.29であるが、対数正規分布を想定した場合には、それぞれ1.19と1.22となり、やや低く算出される。

##### (2) 設計基準強度を下回る確率

図-13にFc180、Fc210、および全コア(全Fcと表記)について、それぞれの圧縮強度比から求めた対数正規分布曲線を示す。いずれ

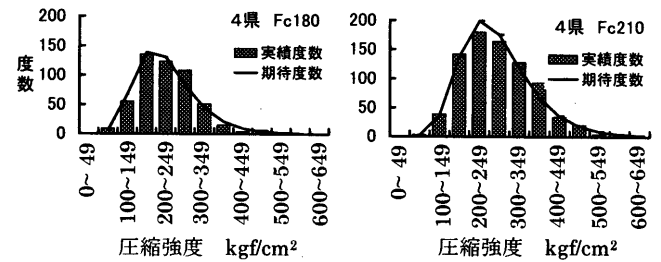


図-10 圧縮強度のヒストグラム (4県)

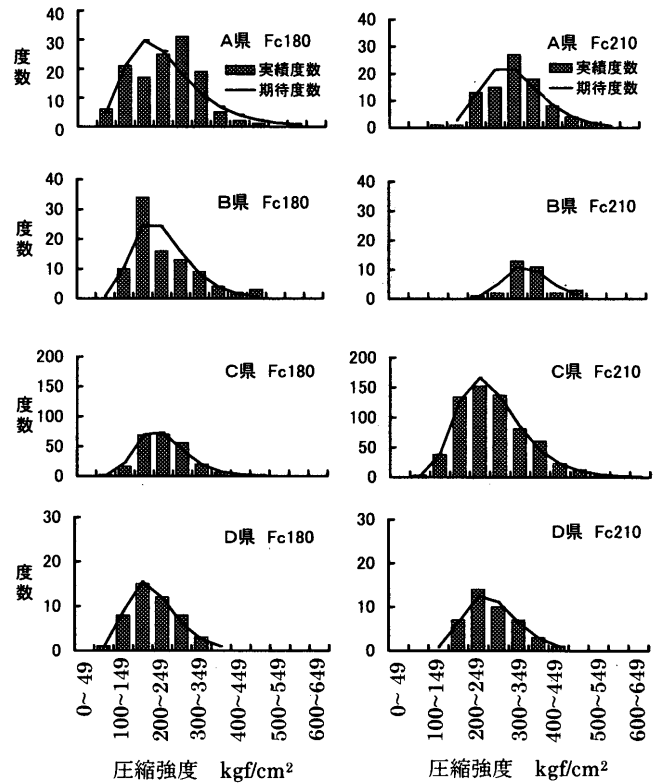


図-11 圧縮強度の県別ヒストグラム

も同様の平均と標準偏差の値であるため、3本の曲線間には明確な相違は認められない。「全Fc」の曲線の最頻値は1.21であった。

圧縮強度比は、その定義より、「1.00」の値が設計基準強度との一致点であり、重要なボーダーとなるが、圧縮強度比が1.00以下となるものの割合(以後、「設計基準強度を下回る確率」と表記)を対数正規分布の累積分布関数より求めると28.1%となる。これより、全コアの1/4以上の圧縮強度が設計基準強度以下となっていることがわかる。

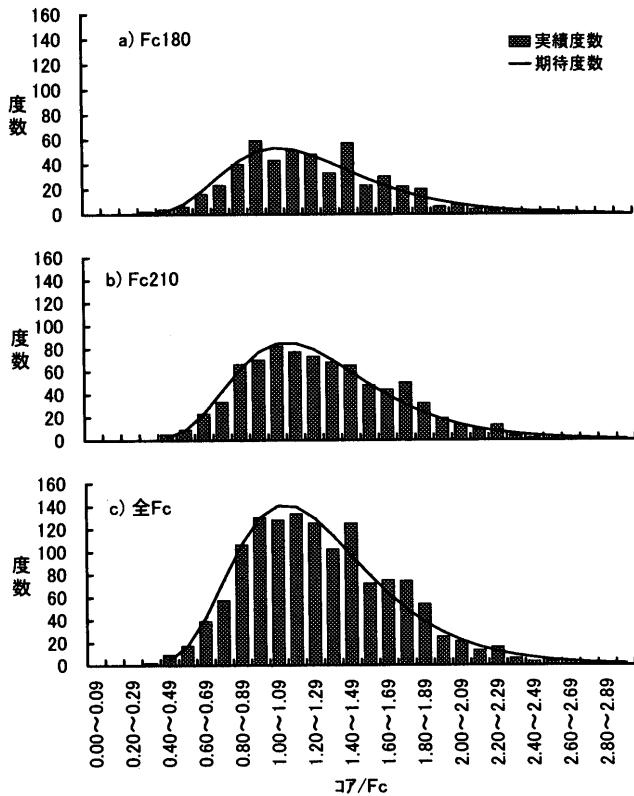


図-12 4 県の圧縮強度比 (設計基準強度別)

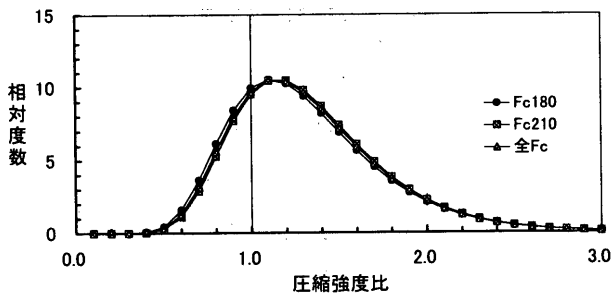


図-13 圧縮強度比の対数正規分布の度数曲線

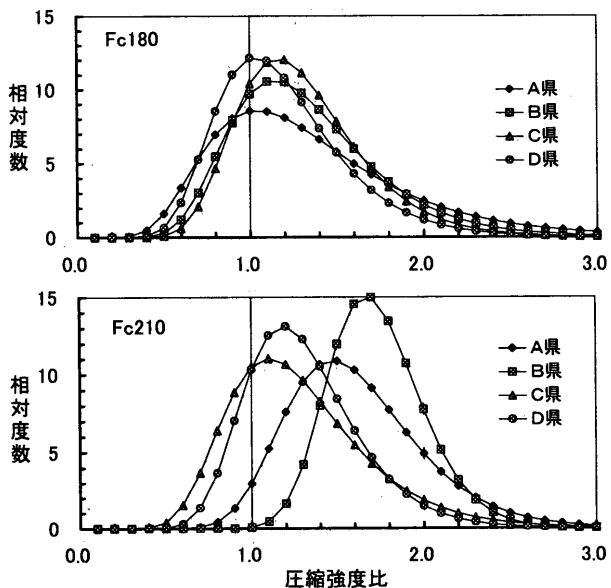


図-14 圧縮強度比の対数正規分布の県別度数曲線

図-14に Fc180 と Fc210 について、県ごとの対数正規分布曲線を示す。B 県の Fc210 以外には設計基準強度を下回るものが認められており、特に Fc180 において著しい。同分布より求めた県別の設計基準強度を下回る確率を図-15 に示す。A 県と B 県の Fc210 以外は 30% 前後の値を示している。

圧縮強度比に関しては、既存建築物のコンクリートに関する既往の調査・研究でも検討がなされており、例えば、(財)日本建築総合試験所では、兵庫県南部地震で被災した建築物の調査<sup>9)</sup>において採取されたコアのうち、429 本について圧縮強度比を求め、平均値 1.32、設計基準強度を下回るものの割合として、20.0%の値を得ている。また、1981 年以前に建設された京阪地域の RC・SRC 造の既存公共建築物 241 棟(コア 555 本)の調査<sup>10)</sup>では、設計基準強度を下回るものの割合として 12.8%(Fc180)、10.1%(Fc210)の値を得ている。一方、関東地方については、工学院大学の研究グループによる調査例<sup>11)</sup>があり、関東地方某県の建設時期の異なる 2 群 (344 棟と 299 棟)の既存の建築物について圧縮強度比を求め、それぞれ、平均値 1.27、1.34 の値を得ている。設計基準強度を下回るものの割合は明示されていないが、10~20%の間と読み取れる。

これら 3 例の既往の調査結果と比較すると、東北地方の圧縮強度比 1.21、設計基準強度を下回るものの割合 28.1%という値は、平均値が低く、設計基準強度に対する余裕が少ない。これらの地域的な相違については、寒冷地・温暖地の違いに主要な原因を求めることもできるかもしれないが、その根拠を調査で得た関連データ中に見出すことはできなかった。

ただし、本論では圧縮強度比の分布を対数正規分布と見なして設計基準強度を下回る確率を求めているが、他の文献では正規分布を想定した考察が多い。図-16 に全 Fc のグループについて両分布の曲線の比較を示す。正規分布を想定した場合は、対数正規分布より設計基準強度を下回る確率がやや少なめに評価される。その際の設計基準強度を下回る確率は全 Fc の場合、対数正規分布の 28.1%に対し、正規分布では 24.9%であった。

JIS A 5308(1968)の規定より、当時のレディーミクストコンクリートには、設計基準強度を下回る確率が 16%のところ合否のボーダーがあったが、本研究のコアとほぼ同年代に生産された東京都のコンクリートの検査成績<sup>12)</sup>によれば、当時の 4 週強度の設計基準強度を下回る確率は、実際には JIS のボーダーよりもかなり低い 1.0~0.5%前後であり、また、時期は多少異なるが、1981 年以降にまとめられた関西地区のコンクリートの試験結果<sup>13)</sup>においても、水中標準養生供試体の設計基準強度を下回る確率は大略 1%程度か、それ以下であったことが示されている。これらの点より、コンクリートが建築物に打設される時点においては、実際の圧縮強度が設計基準強度を下回る確率は、地域に拘わらず大略 1%程度の低率であったと思われる。それに比し、既存建築物のコンクリートの設計基準強度を下回る確率の 10~20%という値、東北地方の既存建築物のコンクリートにおける 30%前後という値は、比較的大きなものであると言える。

コア供試体の強度には、抜き取り作業に伴う物理的なダメージの影響が含まれる場合があるとされ、材齢 90~150 日で 5%未満の強度低下を指摘する例<sup>14)</sup>や材齢 28 日で不良率がやや大きめに算定された例<sup>15)</sup>などが報告されている。しかしながら、既存建築物では十

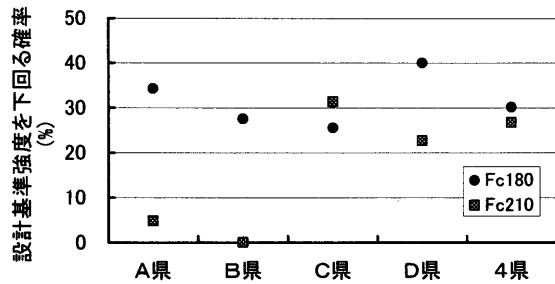


図-15 圧縮強度が設計基準強度を下回る確率 (県別)

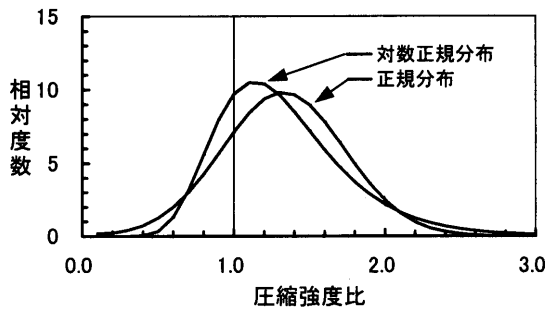


図-16 正規分布と対数正規分布の度数曲線の比較

分な材齢の経過があるため、設計基準強度を下回る確率の増大については、それらの影響よりも、型枠への打設後に生じたコンクリート自体の強度低下によるところが大きいと考えられる。

一般にコンクリート供試体の強度は、標準水中養生強度はもとより、現場水中養生強度であっても、構造体の強度とは異なっているとされ、コンクリートの品質が施工によって変化することはよく知られている。例えば、コンクリートの打設やその後の強度発現に関わる条件(養生状態など)によって、垂直部材(柱・壁)・水平部材(梁・床スラブ)間、あるいは、同一垂直部材内での上下方向間には強度差が生じる<sup>16)</sup>。それらは強度の低下として現われ、同一建築物内であってもコンクリートの品質は必ずしも一様ではなくなる<sup>17)</sup>。当初1%程度であった圧縮強度の設計基準強度を下回る確率が、経年後の既存建築物において30%程度の高率となって表われてしまうのは、基本的には、それら施工に伴う品質の変化、その後の経年変化等の影響によるものと考えられる。東北地方の場合、寒冷地としての気候的要因がそれらに少なからず関わっていることは十分に考えられるところである。

### 4.3 建設年による圧縮強度の変動

#### (1) 建設年と圧縮強度の関係

図-17にFc180とFc210について、建設年による圧縮強度の変動の様子を示す(Fc210の1983年の値は、データ数が他に比べて極端に少ないため、参考値)。Fc180には年を追う毎に強度が上昇して行く傾向が明確に認められ、一部を除いて1960年代半ばまで200kgf/cm<sup>2</sup>以下であった圧縮強度の値が、1960年代後半以降は全てが200kgf/cm<sup>2</sup>を上回るようになっていく。その上昇傾向は設計基準強度の設定値がFc180からFc210へ移行する1970年代後半まで続き、その時点では300kgf/cm<sup>2</sup>近傍の平均値を示すまでになっていることから、その10年間に約100kgf/cm<sup>2</sup>程度の圧縮強度の上昇があったことが窺える。Fc210においても、Fc180ほど明確なものとはなっ

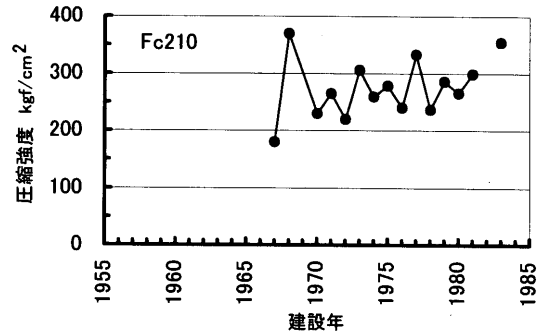
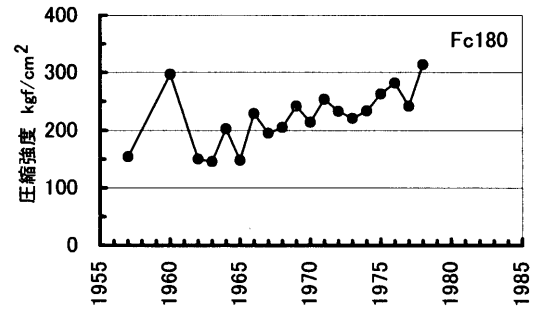


図-17 建設年による圧縮強度の変化

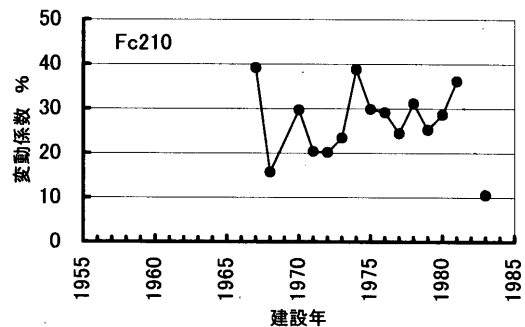
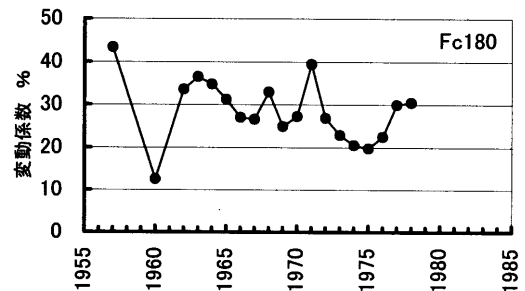


図-18 建設年による変動係数の変化

ていないが圧縮強度の上昇傾向が僅かに認められる。年を追う毎に圧縮強度が上昇して行った傾向については、文献[11]、[18]でも指摘されている。

#### (2) 建設年と変動係数の関係

図-18には同じく変動係数について建設年による変動状況を示した。Fc180の変動係数には年を追う毎に下降して行く傾向がやや認められ、1950年代後半に40%程度の値だったものが、1970年代半ばには20%台まで低下している。ただし、値の上下変動が大きくその傾向は必ずしも明確なものとはなっていない。

梶田ら<sup>6)</sup>は91棟分の既存RC造建築物のコンクリート品質調査報

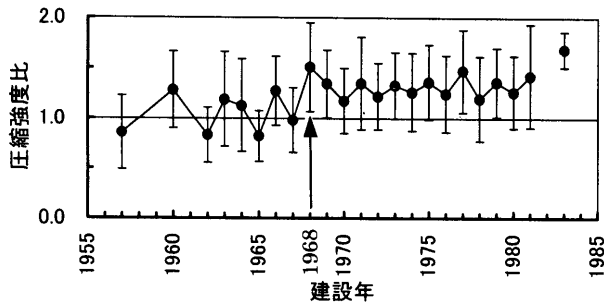


図-19 建設年による圧縮強度比の変化

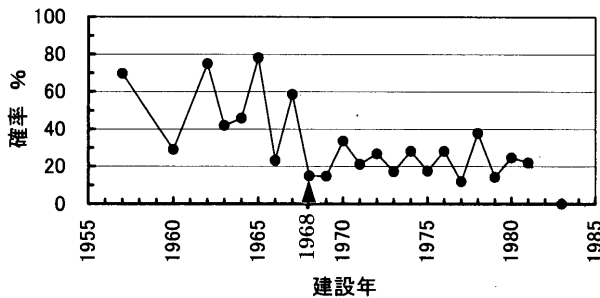


図-20 設計基準強度を下回る確率の建設年による変化

告の中で、1960年頃まで40%を超えていた変動係数が、1965年以降急激に減少し、1970年以降は30%以下となっていることを指摘し、レディーミクストコンクリートの一般化やポンプ施工の普及との関係を示唆している。図はそれらの知見を明確には反映しなかった。

### (3) 建設年と圧縮強度比の関係

図-19に建設年による圧縮強度比の変動を示す。平均値はほとんどが1.00以上となっているが、1960年代に低い値があり、1.00を下回るものはほぼこの時期に集中している。

一方、1968年以降は値がすべて1.0以上となっており、建設年の間のばらつきも小さい傾向にあることから、同年を転換期として、それ以降に品質が安定傾向に移行したとする解釈も考えられる。この1968年はJIS 5308 (レディーミクストコンクリート)の改訂があった年であり、大野<sup>18)</sup>は1968年のJIS 5308改訂と変動係数の変化に着目して、同年を境としてコンクリートの品質が安定する傾向に向かったと指摘している。

ただし、図中に示した1標準偏差の値を示すラインのうち、下方のライン(-1標準偏差)は、ほとんどの年で1.00のボーダーを下回っており、圧縮強度が設計基準強度を下回るものが建設年に拘わらず、少なからぬ確率で生じていることが窺える。

### (4) 建設年と設計基準強度を下回る確率の関係

コア圧縮強度が設計基準強度を下回る確率を求め、建設年別にプロットしたものを図-20に示す。確率は対数正規分布の累積分布関数より求めた値である。

1960年代には確率40%を超える値が多く認められ、中には80%近い値もあるなど、設計基準強度を下回る確率の値は全般に高く、年毎の変動も大きい。それに対し、1970年代以降では同確率は、ほとんどが30%以下の値を示しており、さらにその半数近くが20%以下となっている。また、年毎の変動も小さくなり、1960年代とは明確な相違を示している。安定傾向へ移行した転換時期が先に言及した1968年のJIS 5308改訂の時期と符合している点が注目される。

日本建築学会近畿支部材料施工部会による、兵庫県南部地震で被災・解体された公立学校のコンクリートの調査<sup>19)</sup>では、コアの圧縮強度が設計基準強度を下回る確率は、建設年が新しくなるほど小さくなり、1968年JIS改訂以後は大略15%以下であると報告されている。同JIS改訂の時期をひとつの転換点と捉えられることは、本論においても指摘できる特徴である。

## 5. まとめ

東北地方の既存建築物のコンクリートの圧縮強度の現状について、東北4県の1950年代後半から1980年全般までに建設された既存の公共建築物より抜き取られたコア1341本の圧縮強度のデータをもとに分析した結果をまとめると以下のようになる。

1. 東北4県のコンクリート圧縮強度の平均値は、設計基準強度を上回っているが、設計基準強度を下回る確率は25~30%程度の値となっており、他地域よりも大きい傾向にある。
2. 圧縮強度の分布と、圧縮強度の設計基準強度に対する割合(圧縮強度比)の分布は、共に右に歪んだ形状を示し、何れも対数正規分布で近似できる。
3. 圧縮強度比が対数正規分布に従うものと仮定した場合、その最頻値は1.21となり、設計基準強度に対する余裕が少なく、設計基準強度を下回るものの割合が他地域より高めになる傾向にある。
4. 圧縮強度は、年代が進むにつれて、同一設計基準強度のコンクリートの中であっても値が漸増する傾向にある。一方、変動係数には明確な傾向は認められなかった。
5. 圧縮強度が設計基準強度を下回る確率は、1968年を境として、その前後で異なっており、同年以前に高かった確率の値とばらつきが、それ以降は何れも小さくなっている。ただし、確率の値そのものは20%前後から30%を示しており、依然として高い状態にある。

## 謝辞

本研究は、(社)日本建築学会東北支部、(社)日本建築士事務所協会東北ブロック、(社)建築研究振興協会東北耐震診断改修委員会で構成された、「既存RC造建築物の耐震補強の設計と施工—東北の現状—」誌の編集委員会(委員長:柴田明徳 東北文化学園大学 教授)、並びに執筆委員会(委員長:田中礼治 東北工業大学 教授)による、「東北地方の既存RC建物の耐震診断および耐震補強に関する調査研究」の一部として実施されたものである。データの収集にあたっては、関係する3団体をはじめ、委員各位に多大なご協力を賜った。厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1)日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説、JASS5 鉄筋コンクリート工事、1997、754P.
- 2)例えば、森田司郎:構造体コンクリートの信頼強度、コンクリート工学、Vol. 26、No. 8、1988、pp. 6-12
- 3)Bloem, D. L.: Concrete Strength in Structures, ACI Journal, Vol. 65, No.3, 1968, pp. 176-187
- 4)McIntyre, M., Scanlon, A.: Interpretation and application of core test data in strength evaluation of existing concrete bridge structures, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 17, No. 3, 1990, pp. 471-480.
- 5)田中礼治、他:東北地方の既存RC造建築物の耐震診断および耐震補強に関する調査研究、その1~10、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構

- 造IV、pp.289-308、2000年9月。
- 6) 榊田佳寛、友沢史紀、矢島義鷹、実際のRC造建築物におけるコンクリート品質、日本建築学会論文報告集、311号、pp. 153-163、1982。
- 7) 周建東、広沢雅也、清水泰：既存RC建築物のコンクリート強度に関する調査研究、セメント・コンクリート論文集、No. 52、pp. 1018-1023、1998。
- 8) Mirza, S. A., Hatzinikolas, M., and MacGregor, J. G. : Statistical descriptions of strength of concrete, Proc. of the ASCE, Vol. 105, No. 516, pp. 1021-1037, 1979。
- 9) 坂本欣吾、高橋利一、星野善孝：兵庫県南部地震において被災した構造物から採取されたコンクリート、鉄筋および鉄筋圧接継手の強度について、GBRC、No. 87、pp. 47-53、1997。
- 10) 下平祐司、中村隆治、益尾 潔：既存建築物におけるコンクリートの圧縮強度、中性化深さならびに経年指標に関する統計資料、GBRC、No. 83、pp. 3-10、1996。
- 11) 周建東、広沢雅也、清水 泰：関東地方A県下における学校校舎の耐震性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 619-620、1998。
- 12) 例えば、渡部繁夫、高野孝次、福地利夫、山本 武：東京都における昭和40年度セメント、コンクリート検査成績、セメント技術年報、セメント協会、pp.269-279、1965。  
(他に同題目の一連の報告は、セメント技術年報の昭和39年から昭和50年にかけて掲載されている。)
- 13) 例えば、吉木重明、受託試験におけるコンクリートの圧縮強度及び骨材の品質試験に関する調査—昭和57年度—、GBRC、No. 32、pp. 21-33、1983。  
(他に同様題目の報告は、昭和56年以降の毎年度について、GBRC誌No.26より、継続的に掲載されている。)
- 14) Ramirez, J. L., Barcena, J. L. : Controle de Qualite des Structures en Beton, (Proc. of the RILEM Conf.), Stockholm, No. 1, pp. 165-173, 1979。
- 15) コンクリート懇談会：最近の現場におけるコンクリート強度の一例、GBRC、No. 9、pp. 14-19、1978。
- 16) 永井康淑、川口徹：構造体コンクリートの強度に関する実態調査、セメント・コンクリート、No. 372、pp. 8-15、1978。
- 17) 榊田佳寛：実構造物中のコンクリート強度の分布、セメント・コンクリート、No. 404、pp. 8-13、1980。
- 18) 大野義昭：既存建物に使われているコンクリート、建築防災、pp. 24-33、1998. 7。
- 19) 日本建築学会近畿支部材料・施工部会：材料施工に関する被害調査報告書、1996. 7。(直接の引用は文献(18)による。)

(2000年12月7日原稿受理、2001年3月28日採用決定)