

# コンクリートの応力ひずみ曲線に及ぼす骨材ヤング係数の影響に関する研究

1230147 淵上 新太郎

## 1. はじめに

現在、土木学会コンクリート標準示方書<sup>1)</sup>において、曲げと軸力を受ける断面の耐力計算の際にコンクリートの応力-ひずみ関係式として前川らのモデル式を採用しており、圧縮強度時ひずみは一般に  $2000\mu$  としている。しかし種々の既往の実験から、コンクリートの強度が大きくなるに従い、圧縮強度時ひずみは  $2000\mu$  より明らかに大きくなることが知られている。そこで本研究では、応力-ひずみ関係式に骨材のヤング係数を取り入れ、新たに精度の高い推定式を構築することを目的とする。

## 2. 研究方法

既往の研究から応力-ひずみ曲線の実験値を収集し、様々な強度のコンクリートの圧縮強度時ひずみを比較し、どの要素が圧縮強度時ひずみの値の変動に関わっているか考察する。そしてその要素と応力-ひずみ曲線に関連付けた圧縮強度時ひずみ推定式を構築する。

## 3. 現状と問題点

### 3.1 圧縮強度時ひずみと圧縮強度の関係

現在は圧縮強度時ひずみの推定式として NewRC 報告書<sup>2)</sup>中で提案されている  $\epsilon'_0 = 930f'_c{}^{1/4}(\mu)$  が用いられているが、図1に示すように、実験値と推定式は明らかに一致していない。また、実験値の線形は一様ではないため、推定式を立式する際は、圧縮強度時ひずみと圧縮強度の2変数のみからなる式では精度を担保できないことが考えられる。

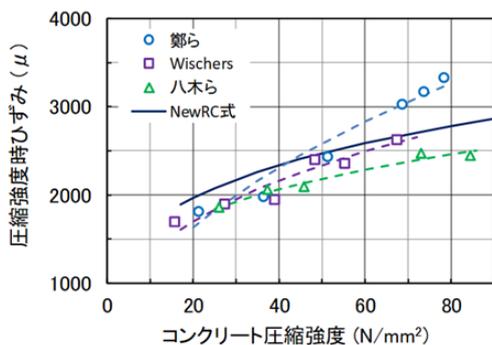


図1 NewRC 推定式と実験値の比較<sup>3), 4), 5)</sup>

### 3.2 応力-ひずみ曲線の精度

現在の推定式と、既往研究から得た応力-ひずみ関係の実験値を比較した。圧縮強度の実験値を NewRC 式と前川式を組み合わせたものに代入し、グラフに反映した結果、いずれも推定式と実験値に決して小さくない差が生じていることが見て取れる(図2)。特に高強度域に入り、圧縮強度が大きくなるほど差が大きくなっていることが確認できる。以上の比較から NewRC 式を適用するだけでは精度は不十分であると考えられる。

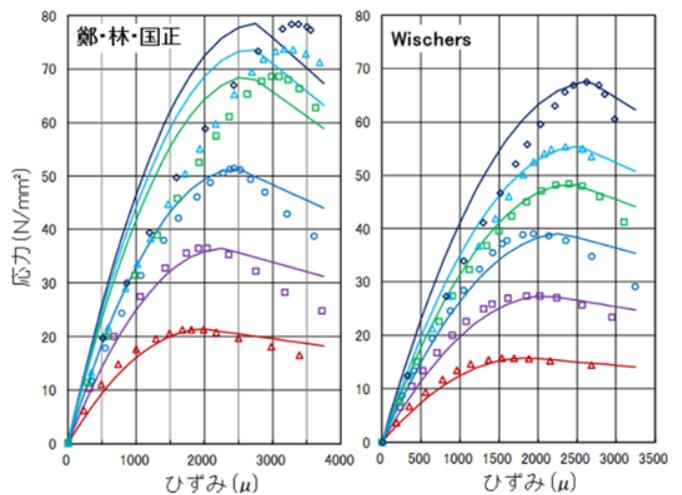


図2 NewRC 推定式と実験値の比較<sup>4), 5)</sup>

## 4. 分析と考察

### 4.1 コンクリートのヤング係数

NewRC 式<sup>2)</sup>は

$$E_c = 33.5k_1k_2 \left(\frac{\gamma}{2.4}\right)^2 \left(\frac{f'_c}{60}\right)^{1/3} \quad (1)$$

として与えられるが、その内の  $k_1$  に着目して考察する。 $k_1$  は岩種別の粗骨材補正係数であり、あくまでも岩種ごとに導き出されたものである。同種であっても、産地や砕石法によってヤング係数が異なることは明らかであり、その可能性を考慮しない補正係数を用いることは大きな誤差を生み出し得る危険なことだと考える。

### 4.2 粗骨材原石のヤング係数

圧縮強度と圧縮強度時ひずみとの関係の実験値が様々な線形を持ってしまう要因について、コンクリートのヤング係数に注目して考察する。コンクリートの

組成材料の中で最もヤング係数が大きく、容積率を占めるのは骨材であり、中でも粗骨材のヤング係数が、データのばらつきに強く影響していると考えられる。ここで新たに粗骨材原石ヤング係数( $E_a$ )によって決まる修正係数 $k_1'$ を定める。NewRC 式( $k_2 = 1, \gamma = 2.4, f'_c = 60\text{N/mm}^2$ )に田中・島の研究<sup>7)</sup>から得たコンクリートヤング係数( $E_c$ )の実験値を代入し導いた $k_1$ についての式と、粗骨材の原石ヤング係数( $E_a$ )の関係を回帰して表した $k_1$ を、新たに $k_1'$ として式(2)で定めた。

$$k_1' = 59 \times 10^{-6} E_a + 0.9 \quad (2)$$

次に、 $k_1'$ を Hognestad 式<sup>6)</sup>に代入し、式(3)の圧縮強度時ひずみ推定式を導出した。

$$\epsilon_0'(E_a) = \frac{210 f'_c{}^{2/3}}{5.9 \times 10^{-3} E_a + 0.9} (\mu) \quad (3)$$

ここで求めた $\epsilon_0'$ を前川式へ組み込んだ式を新たな推定式( $E_a$ )とし、実験値および従来の推定式との比較を以下の図3に示す。3つの供試体の実験値には、従来の推定式と比較して、新たな推定式の線形がよく合致していることが分かる。

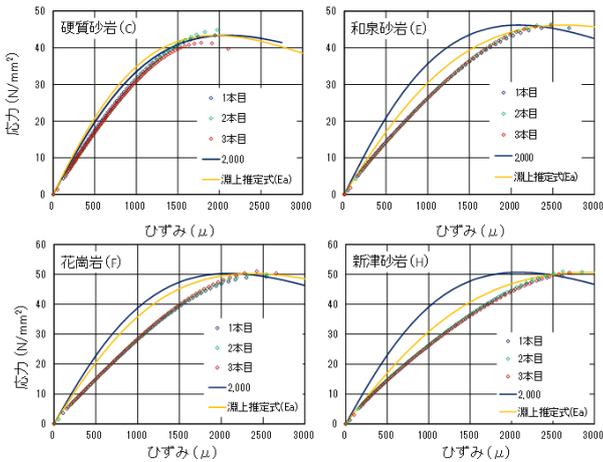


図3 応力-ひずみ曲線の推定式( $E_a$ )と実験値の比較

### 4.3 複合則による粗骨材碎石の推定ヤング係数

ここまで粗骨材の原石ヤング係数( $E_a$ )を用いていたが、先述のように粗骨材は粉砕される際ヤング係数が小さくなることが知られている。粗骨材碎石のヤング係数( $E_g$ )は、モルタルとコンクリートのヤング係数の差から複合則を用いて推定でき、Hashin-Hansenの式が最も実験結果に合うとされている。ここで、 $E_a$ に代えて $E_g$ を用いて、同様に式(4)の推定式を導出した。

$$\epsilon_0'(E_g) = \frac{210 f'_c{}^{2/3}}{1.5 \times 10^{-2} E_g + 0.6} (\mu) \quad (4)$$

これを前川式へ組み込んだ推定式と、従来の推定式の比較を図4に示す。粗骨材碎石のヤング係数の推定

値を用いた場合も、3つの供試体の実験値に推定式( $E_g$ )の線形がよく合致していることが分かる。また、推定式( $E_a$ )と、推定式( $E_g$ )を比較すると、後者の初期剛性の方がよく合っていることが分かる。

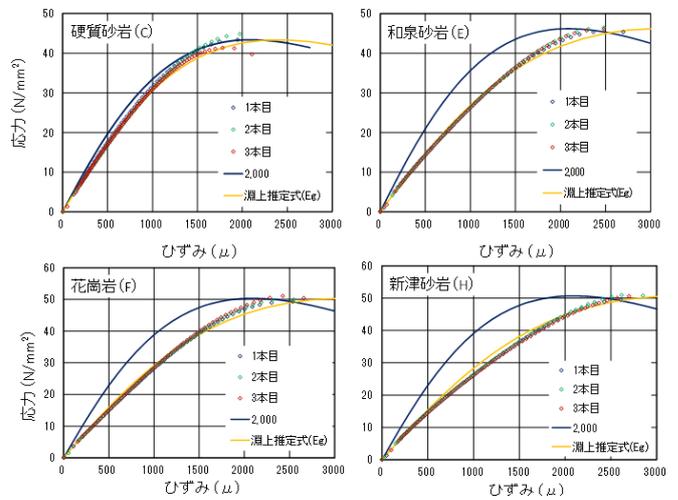


図4 応力-ひずみ曲線の推定式( $E_g$ )と実験値の比較

## 5. まとめ

本研究より以下の結論を得た。

- (1) 圧縮強度と圧縮強度時ひずみの関係には粗骨材のヤング係数が影響している。
- (2) 粗骨材原石のヤング係数 $E_a$ を組み込んだ新たな応力-ひずみ曲線推定式は、従来の推定式と比較して実験値の曲線形に近い。
- (3) 複合則を用いて粗骨材碎石のヤング係数を推定した $E_g$ を用いた場合の方が、 $E_a$ を用いた場合よりもさらに実験値に近くなる。

## 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕,2022
- 2) New RC 研究開発概要報告書,平成4年度,建設省総合技術開発プロジェクト,1993
- 3) 鄭ら：高強度コンクリートの各種強度ならびにこれを使用した鉄筋コンクリートばりのせん断強度に関する実験研究,第2回コンクリート工学年次講演会論文集,pp.453-456,1980
- 4) Wischers：Applications and Effects of Compressive Loads on Concrete, Betontechnische Berichte 1978, pp.31-56,1979
- 5) 八木ら：高強度コンクリートの一軸圧縮応力-歪に関する研究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.12, No.1, pp.197-202,1990
- 6) Eivind Hognestad：A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members, Bulletin No.399, University of Illinois, Nov.1951
- 7) 田中・島：骨材の乾燥収縮とヤング係数を用いたコンクリートの乾燥収縮に関する複合モデルの検証,土木学会論文集 E2, Vol.68, No1, 72-82, 2012