

構造性能評価における解析入力値の影響の基礎的検討

Preliminary study on the effects of analytical input parameters in the evaluation of structural performance

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院

○学生員
正 員
正 員

安井基哲 (Motonori Yasui)
Pengru DENG
松本高志(Takashi Matsumoto)

1 はじめに

維持管理において既設構造物の定量的な性能評価が求められている。現状の性能評価は外観による定性的なものが主であり、合理性に欠ける点がないとは言えない。点検・計測に基づいた値を数値解析の入力値に用いることでより合理的で定量的な性能評価体系の構築が考えられる。

しかしながら、既設構造物では設計図等が破棄されており、コンクリートや鉄筋の材料特性値や位置などを破壊／非破壊計測により取得／推定しなければならない場合が多く生じる。こうして得られる値は真値とは限らず、誤差が避けられない。点検・計測と数値解析においてこうした誤差が性能評価に及ぼす影響を検討する必要がある。

そこで本研究では、既設構造物の定量的な性能評価手法の確立に向けて、非線形解析での基礎的検討を実施した。点検・計測で得られる値に誤差が含まれていることを考慮して、RC 梁の非線形解析において材料特性に関する入力値が変動した時に構造性能に及ぼす影響がどの程度あるかを検討することを目的としている。これにより、点検・計測から解析に至る道筋で各数値などに要求される精度の検証に資することを上位目的としている。

2 検討方法

図-1 に対象とする四点曲げ載荷実験の RC 梁供試体の寸法を示す¹⁾。

コンクリートの圧縮の応力-ひずみ関係は次式によるものとした。

$$f_c = \varepsilon E_c \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$f_c = \frac{\varepsilon E_c}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2} \quad \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0 \quad (2)$$

$$f_c = f'_c \quad \varepsilon_0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cu} \quad (3)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{2f'_c}{E_c} \quad (4)$$

ここに、コンクリートの圧縮応力 f_c 、ひずみ ε 、ヤング率 E_c 、圧縮強度 f'_c である。ヤング率と圧縮強度はそれぞれ 24.3GPa、29.7MPa とした。応力-ひずみ関係が線形領域の最大ひずみ ε_1 は 0.00037、圧縮強度到達時のひずみ ε_0 は一般値として 0.002、終局時ひずみ ε_{cu} は ACI Committee 318 より 0.003 とした。またポアソン比 ν_c は 0.2 とした。

コンクリートの引張強度 f_t は、

$$f_t = 0.23 \left(f'_c \right)^{2/3} \quad (5)$$

によるものとした。

使用鉄筋は主筋が D16 (断面積 198.6 mm²)、せん断補強筋が D10 (断面積 71.3mm²) である。ヤング率は 200GPa である。応力-ひずみ関係は線形硬化弾塑性とした。降伏強度、最大強度、終局ひずみはそれぞれ、386MPa、546MPa、240,000 μ である。

図-2 に解析モデルを示す。対称性を利用して 1/4 モデルを用いる。コンクリートのヤング率を 24.3GPa、主筋を D16 としたものを「基本モデル」と呼ぶ。コンクリートのヤング率は 20~40GPa を検討範囲とし、主筋は D13 (断面積 126.7mm²)、D16、D19 (断面積 286.5mm²) を検討範囲とする。これらの検討範囲内で値を変化させて、ひび割れ荷重と支間中央変位への影響を検討する。ただし、値を変化させる変数は常に一方として、もう一方は基本モデルの値とする。

3 結果

図-3 に結果を示す。ひび割れ荷重の実験結果¹⁾は 30.0kN、基本モデルによる非線形解析結果は 30.5kN であった。誤差は約 1.6% であり、高い精度であったと考えられる。支間中央の変位は荷重が 40kN のときのものである。以下にそれぞれの結果を述べる。

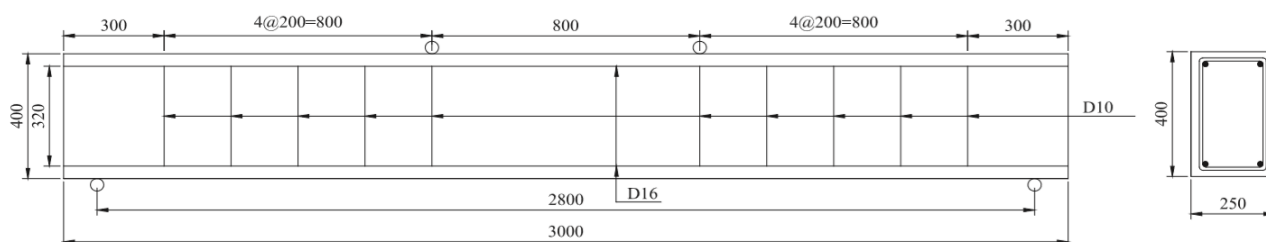


図-1 供試体概要図 (単位: mm)

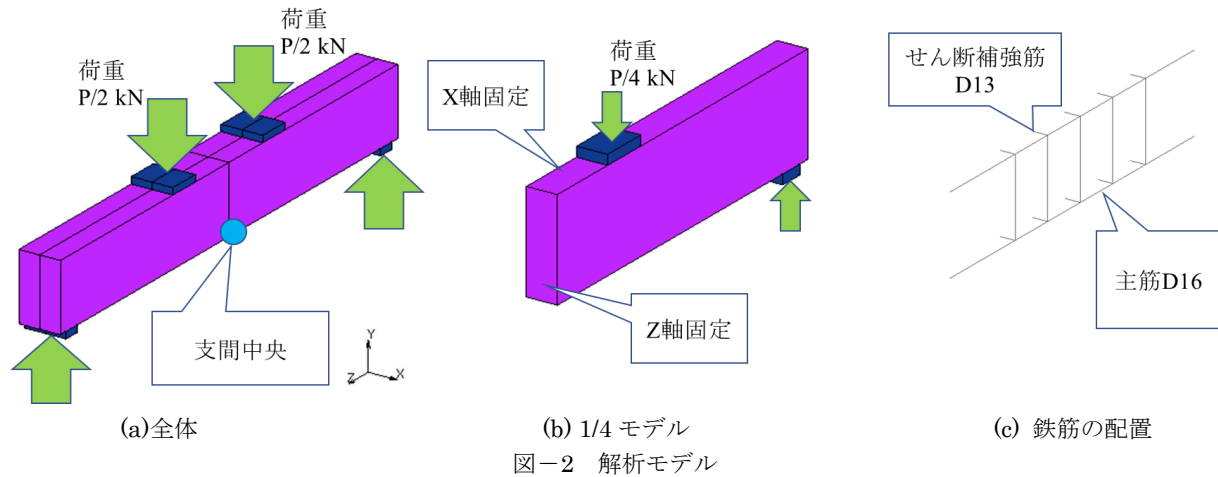


図-2 解析モデル

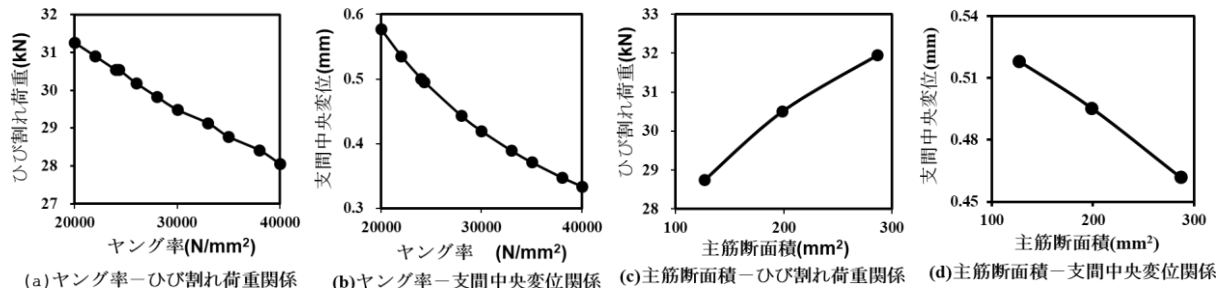


図-3 各変数と各結果の関係

表-1 入力値誤差の影響

	誤差	ひび割れ荷重 (kN)	支間中央変位 (mm)
ヤング率	+10%	-1.6%	-4.1%
	-10%	+1.6%	+7.1%
鉄筋 断面積	+10%	+1.3%	-1.2%
	-10%	-1.6%	+1.0%

(a)ヤング率-ひび割れ荷重関係は概ね負の比例関係にある。ヤング率が倍になるとひび割れ荷重は約 90% となる。

(b)ヤング率-支間中央変位関係は下向きに凸の負の関係にある。ヤング率が倍になると変位は 58% となる。

(c)主筋断面積-ひび割れ荷重関係は正の関係にある。断面積が約 2.2 倍になるとひび割れ荷重は約 111% となる。

(d)主筋断面積-支間中央変位関係は負の関係にある。断面積が約 2.2 倍になると変位は約 89% になる。

表-1 には入力値誤差の影響をまとめた。ヤング率の $\pm 10\%$ 変動がひび割れ荷重で $\pm 1\%$ 台の変化を起こし、大きな影響を及ぼさないとと言える。支間中央変位に対しては、 $\pm 10\%$ 変動が -4.1% と $+7.1\%$ の変化を起こし、影響は比較的大きい。鉄筋断面積の $\pm 10\%$ 変動はひび割れ荷重と支間中央変位 $\pm 1\%$ 台の変化を起こすことから、影響は大きくない。

ひび割れ荷重の実験結果と解析結果の 1.6% の誤差は、ヤング率では 1% 程度、主筋断面積では 16% 程度の誤差

より生じうるが、実験と解析共に D16 を使用しているため差異はない。ヤング率に帰するならば 1% の誤差となりうる。

4 まとめ

本研究では、点検・計測から解析に至る道筋で各数値などに要求される精度の検証に資することを念頭に、RC 梁の四点曲げ載荷実験を対象として、非線形解析におけるコンクリートのヤング率と鉄筋の断面積の値が変動した場合、ひび割れ荷重と支間中央変位の変化に及ぼす影響を調べた。

ヤング率の $\pm 10\%$ の変動は、ひび割れ荷重への影響は 1% 台と少なく、一方で支間中央変位には数% 程度の影響があった。また、鉄筋断面積 $\pm 10\%$ の変動はいずれに対しても影響は 1% 台であり少なかった。

本稿で検討はまだ一部の解析入力値に留まっており、今後他の解析入力値についても検討を広く進めていく必要がある。

参考文献

- 1) Muhammad Safdar, Takashi Matsumoto, and Ko Kakuma. "Flexural behavior of reinforced concrete beams repaired with Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC)." Composite Structures, Vol. 157, pp. 448-460, 2016.
- 2) James G. MacGregor, et al. "Reinforced concrete: mechanics and design." Prentice Hall, 1997.