

報告

[2042] たわみ量の算定に用いる RC 桁の曲げ剛性に関する一考察

正会員 ○ 渡辺 忠 朋 (鉄道総合技術研究所)

正会員 松本 信之 (鉄道総合技術研究所)

正会員 涌井 一 (鉄道総合技術研究所)

1. はじめに

短期のたわみの検討は、限界状態設計法の使用限界状態の検討において、重要な検討項目の1つである。

RC 部材の断面の曲げモーメント  $M$  と曲率  $\phi$  との関係を模式的に図 1 に示す。

鉄道構造物では、図 1 において、B 点が死荷重のみの状態を表し、C 点が死荷重 + 列車荷重 (衝撃を含む) の状態を表す。従って、列車荷重によるたわみ量は、D - C 間の再載荷時曲げ剛性により決定される。しかしながら、再載荷時曲げ剛性  $K_r$  については定量化がなされていないのが現状である。

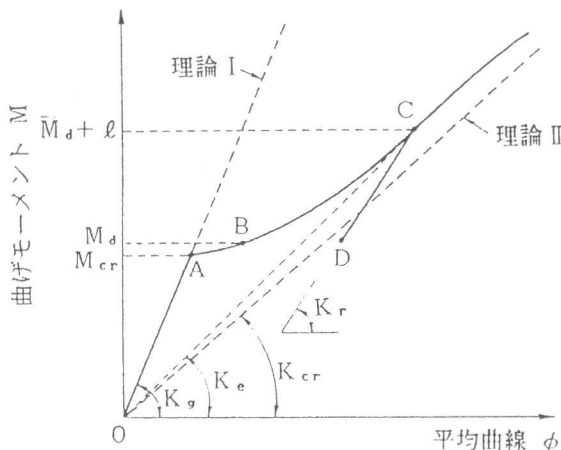


図-1 曲げモーメントと平均曲率との関係

本論ではこのような観点から、列車荷重によるたわみ量を算定する際の曲げ剛性たる再載荷時曲げ剛性  $K_r$  (処女載荷直後および繰返し載荷後) と、全断面有効の曲げ剛性  $K_g$  および割線曲げ剛性  $K$  (処女載荷時) との関係について、RC 桁の実験に基づいて検討を行い、再載荷時曲げ剛性  $K_r$  の定量化を試みたので、以下に報告するものである。

2. 実験概要

実験は、著者らの行った RC 桁の疲労実験結果 [1] を利用することにした。

供試体の諸元を図 2 に示す。引張鉄筋は一段配置で引張鉄筋比は 0.7 % と標準的な値であることから、載荷過程における曲げ剛性の変化の様子を把握しようとする本検討の目的にも合致した実験であると判断し、そのデータを用いて検討を行うことにした。

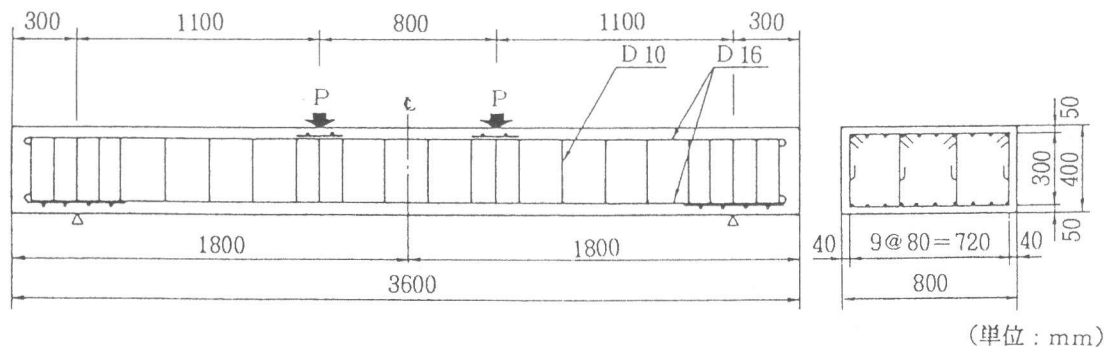


図-2 供試体の諸元

載荷方法は、図2に示すように2点対称荷重である。先ず、所定の最大荷重まで載荷し、完全に除荷した後に所定の最大荷重まで再載荷した。

実験は最大荷重をパラメータとして、4体の供試体に対して行った。表1に載荷荷重（片側）と鉄筋応力度（スパン中央における理論Ⅱによる計算値）を示す。疲労試験を目的としたものであるため、最大鉄筋応力度は比較的大

きく設定した。しかし、限界状態設計法においては、使用限界状態の最大鉄筋応力度が2000kgf/cm<sup>2</sup> (SD345)を上回るような設計も可能となることから、表1に示した設定は本検討に適した条件であると考えた。

実験結果（スパン中央点のたわみと荷重の関係）を表-1および図-3に示す。

### 3. 再載荷時曲げ剛性の検討

処女載荷時の割線曲げ剛性K。については、Bransonにより式(1)が提案されている[2]。

$$K_o = (M_{cr}/M)^4 \cdot K_g + \{1 - (M_{cr}/M)^4\} \cdot K_{cr} \dots\dots\dots (1)$$

表-1 実験結果

供試体	f'c	最大荷重時			完全除荷時	
		Pmax	σs	δmax	Pmin	δmin
No.2	264	17.5	3155	5.29	0	1.16
No.3	266	14.0	2524	3.63	0	1.05
No.3'	304	13.5	2433	3.02	0	0.80
No.4	235	12.5	2253	3.76	0	1.14

注) 単位 Pmax, Pmin : tf, δmax, δmin : mm  
σs : kgf/cm<sup>2</sup>, f'c : kgf/cm<sup>2</sup>

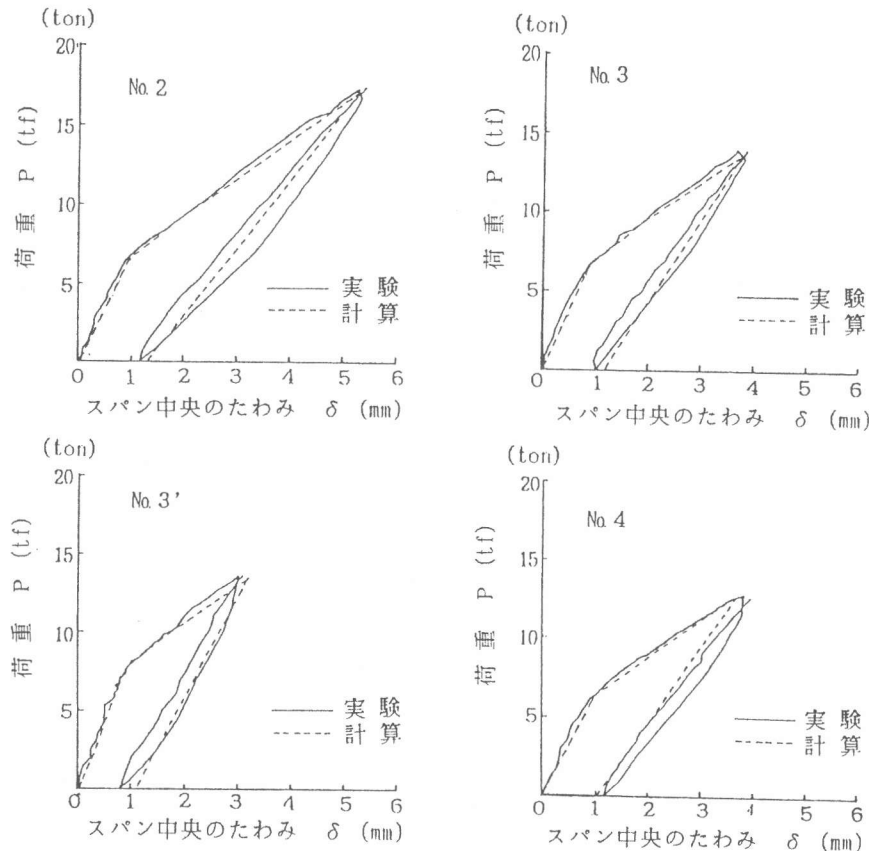


図-3 荷重-たわみ曲線の比較

ここに、式中の記号は図1に示したとおりである。なお、 $K_g$ は理論I（全断面有効）の断面二次モーメントに、 $K_{cr}$ は理論II（中立軸以下のコンクリートの引張抵抗を無視）の断面二次モーメントに、それぞれコンクリートの弾性係数 $E_c$ を乗じた値として求められる。

まず、(1)式を用いて処女載荷時の荷重-たわみ曲線（ $P-\delta$ 曲線）のトレースを試みた。

曲げモーメント $M$ に対して曲率 $\phi$ の分布を $M/K$ により算定し、それを部材軸に沿って二階積分してスパン中央のたわみを求めた。

式(1)のパラメータ値は以下により定めた。

- ①  $K_g$ は実測した $P-\delta$ 曲線の第一勾配から実験的に値を定めた。
- ②  $M_{cr}$ は、実測したひびわれ点の曲げモーメントとした。

処女載荷時の $P-\delta$ 曲線を式(1)によりトレースした結果を図3に示す。実験値と計算値とは良く一致している。

処女載荷時の割線曲げ剛性は、式(1)を用いることにより精度良く評価されるので、ここでは再載荷時の割線曲げ剛性を式(1)を拡張して評価することを試みた。

再載荷時曲げ剛性 $K_r$ は、図1に示したように、 $K_g$ と $K_c$ との間にある。そこで補間係数 $k$ を用いて、 $K_r$ は式(2)により評価することができるかと仮定した。

$$K_r = k \cdot K_g + (1 - k) \cdot K_c \quad \dots \dots \dots (2)$$

$k$ をある値に仮定して、再載荷時の曲げモーメント増分 $\Delta M$ に対して曲率増分 $\Delta \phi$ （ $= \Delta M / K_r$ ）を算定し、それを部材軸に沿って二階積分してスパン中央のたわみ増分 $\Delta \delta_{cal}$ を求めるという過程を繰り返すことにより、たわみ増分の実測値 $\Delta \delta_{test}$ に一致する $k$ の値を求めた（図4参照）。その結果、 $k$ の値は、表2に示すように、供試体により0.23~0.42の範囲となった。

式(1)では、 $K_g$ と $K_{cr}$ から $K_c$ を求めるための補間係数として $(M_{cr}/M)^4$ を用いている。これとの整合性を考慮し、表2の $k$ を $M/M_{cr}$ に対してプロットしたものを、図5に示す。これより、 $k$ と $M/M_{cr}$ との関係について以下の事項が考察される。

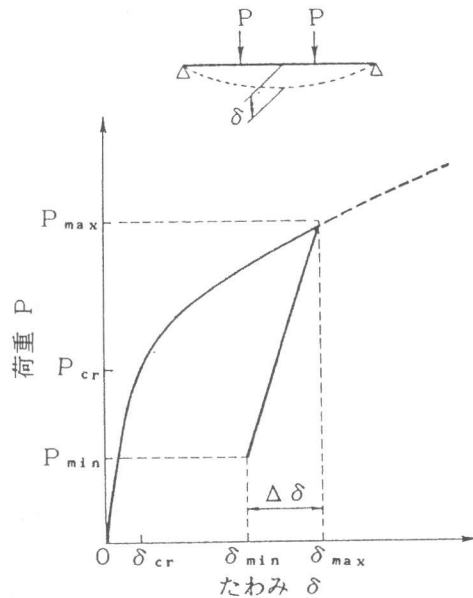


図-4 再載荷時のたわみ増分 $\Delta \delta$

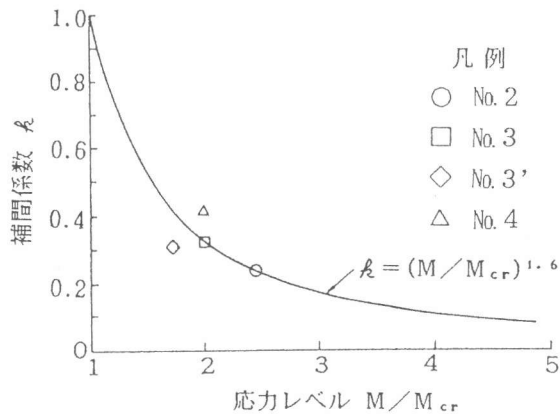


図-5 補間係数  $k$

- ① 実験条件の範囲が狭いながらも、  
と  $M/M_{cr}$  の相関が認められる。
- ②  $M/M_{cr}$  が 1.0 に近づく時には、  
 $K_r$  は  $K_g$  に収斂するので、 $\lambda$  も 1.0  
に漸近すると考えられる。
- ③  $M/M_{cr}$  が大きくなると剛性低下  
が進行するため、 $\lambda$  は小さくなる傾  
向にあると考えられる。

以上の考察により、 $\lambda$  は  $(M_{cr}/M)^{m_r}$   
で表すことができると仮定し、対数座標  
上における両者の関係から最小二乗法に  
より  $m_r$  を求めた。その結果、 $m_r=1.6$   
となった。図5に、 $\lambda = (M_{cr}/M)^{1.6}$   
とした場合の曲線を示す。

これより、 $K_r$  は式(3)により表すことが  
できる。

表-2  $\lambda$  の計算結果

供試体	$\lambda$
No. 2	0.233
No. 3	0.325
No. 3'	0.310
No. 4	0.417

表-3  $\Delta \delta_{test}$  と  
 $\Delta \delta_{cal}$  の比較

供試体	$\Delta \delta_{test}$	$\Delta \delta_{cal}$
No. 2	4.13	4.03
No. 3	2.58	2.62
No. 3'	2.22	2.15
No. 4	2.62	2.66

(単位: mm)

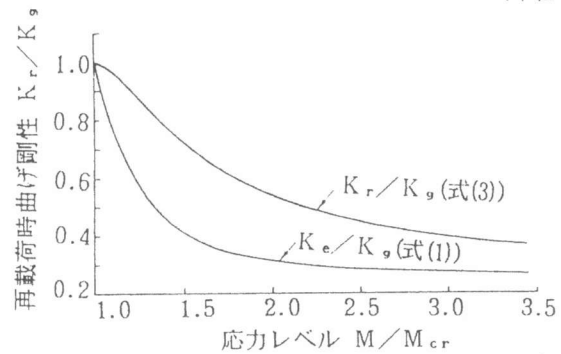


図-6 再載荷時曲げ剛性の応力レベルに対する変化

$$K_r = (M_{cr}/M)^{1.6} \cdot K_g + \{1 - (M_{cr}/M)^{1.6}\} \cdot K \quad \dots \dots \dots (3)$$

式(3)を用いて、完全除荷時からの荷重増分に対して、たわみ増分の計算値  $\Delta \delta_{cal}$  を求めた。  
たわみ増分の実測値  $\Delta \delta_{test}$  との比較を表3に示す。

4 供試体とも比較的精度良く算定されていると考えられる結果となった。

実験に用いた供試体の諸元を用いて計算した  $K_r/K_g$  と  $M/M_{cr}$  との関係を図-6に示す。

4. まとめ

RCの再載荷時の割線曲げ剛性について検討を行った結果、再載荷時の割線曲げ剛性  $K_r$  は、  
処女載荷時の割線曲げ剛性を評価する(1)式を拡張し、理論I(全断面有効)の曲げ剛性  $K_g$  と割  
線曲げ剛性  $K$  とを用いて式(3)により評価することができる。

参考文献

- 1) 松本・山住・宮本：多数本の引張鉄筋を有するコンクリート梁の疲労寿命、第13回コンク  
リート工学年次論文報告集、1999.7
- 2) ACI Committee 435 : Deflections of Reinforced Concrete Flexural Members, Journal  
of the American Concrete Institute, V. 63, No. 6, 1966. 6