

プレストレスを導入した部材の定量的な疲労照査に関する研究

(株) ピーエス三菱 (前 国土技術政策総合研究所交流研究員) 正会員 ○藤田 知高
国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 玉越 隆史

1. 目的

プレストレスを導入しながらも発生を想定している PRC 構造のひび割れは、耐久性の点から許容されるひび割れ幅以下であること及び荷重の繰返し载荷によりひび割れ幅が拡大し、耐力力上も有害なひび割れにならないことが前提にある。しかしながら、長期間過酷な外力等条件下で供用される道路橋の耐久性に対する定量的な評価基準の明確化は未だ十分とは言えず、従来から規定されている設計に用いる断面力やそれに対応した許容値及び構造細目と耐久性との関係は、具体的に示されていないのが現状である。また国総研が過去に実施した既設 PRC 橋梁の損傷実態調査により、比較的小さな荷重条件下にもかかわらず中立軸を越えるようなひび割れが確認され、疲労損傷が存在する可能性が示唆された。また、曲げひび割れ性状と残存プレストレス力には何らかの相関があるという研究報告¹⁾からも、疲労により耐力性能が変化する可能性も推察される。本稿は、プレストレスが導入された部材の疲労損傷を実験レベルで確認すると共に、定量的な疲労照査の可能性について検証を行ったものである。

2. 試験方法

プレストレスを導入したコンクリート梁供試体に対し、繰返し荷重により曲げ応力を発生させ、ひび割れ性状及びコンクリート表面ひずみの計測を行い、コンクリートのひずみ振幅を S 、ひび割れの存在を無視して鉄筋コンクリート梁として求めたその部位での曲げによる水平方向の応力振幅の繰返し回数を N としたときの S - N 関係図より、定量的な疲労照査の可能性を検証した。使用した供試体は、 $W/C=65\%$ 、設計基準強度 $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ のコンクリートを用いた桁幅 0.2m、桁高 0.4m、支間長 3.0m の単純梁構造とし、SBPR930/1180 $\phi 13$ の PC 鋼棒 1 本にて所定のプレストレスを導入した。载荷条件は、最大载荷荷重～最小载荷荷重の定点繰返し载荷とし、コンクリートひずみ計測のためのひずみゲージを供試体上面及び側面に貼り付けた。対象とした载荷条件及び供試体諸元を表-1 に示す。

3. 試験結果

3.1 繰返し回数とひび割れ高さの関係

繰返し荷重载荷により、各ケースの供試体にはひび割れの発生が確認された。各供試体について、所定繰返し回数終了時のひび割れ状態及び繰返し回数とひび割れ高さの関係を図-1 及び図-2 に示す。図-2 より、同じ応力変動が繰り返される中でもひび割れ高さが徐々に進展する傾向が見られた。

表-1 载荷条件及び供試体諸元

供試体名称	荷重振幅 P (kN) (最小/最大)	载荷回数 N (回)	プレストレス 導入量 (kN)	応力振幅 P (N/mm ²) (最小/最大)
B55-200	10 / 55	200万	87.3	0.30 / -3.63
C46-500	10 / 46	500万		0.30 / -2.58

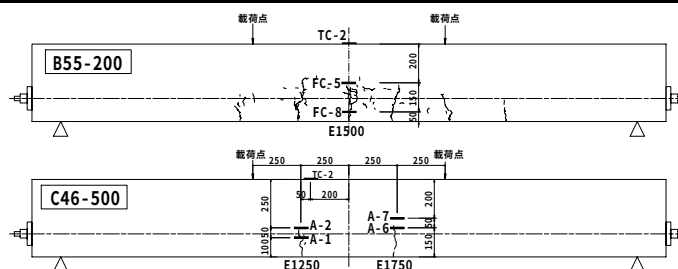


図-1 ひび割れ状態

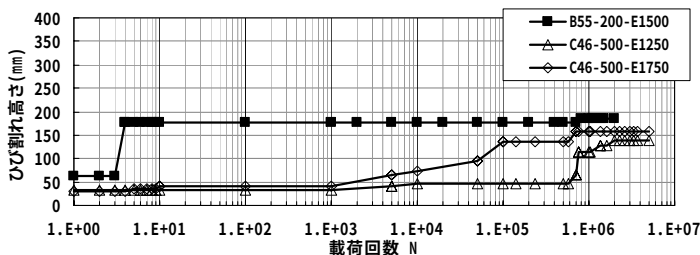


図-2 繰返し载荷回数とひび割れ高さの関係

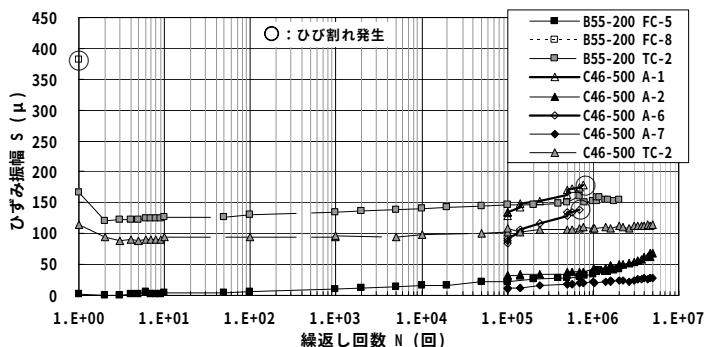


図-3 ひずみ振幅 S - 繰返し回数 N の関係

キーワード 疲労, ひずみ振幅

連絡先 〒104-8215 東京都中央区晴海 2-5-24 晴海センタービル 3F (株) ピーエス三菱 TEL03-6385-8050

3.2 定量的な疲労照査の可能性検証

各供試体の各ひずみゲージ位置で取得された $S-N$ 関係を図-3 に示す。C46-500 の A-1 及び A-6 に着目すると、目標とした最終の繰返し回数(500 万回)に達する前(A-1:76 万回, A-6:70 万回)に、ひび割れがひずみゲージ位置まで到達した。曲げの繰返しによって徐々にひび割れが進展し構造系が変化する現象に対し、ここではコンクリート梁断面を適当な高さで分割して離散化し、分割された領域単位において

どの程度の応力変化とその繰返しによって破壊(ひび割れの発生)に至るのかを、図-4 に示す要領で整理し、 $S-N$ 関係として捉えることが可能かどうかの検討を行った。曲げ載荷が繰り返されるなかで、ひび割れが進展していく部分にある各領域について、ひび割れが到達するまでの期間に経験したひずみ振幅 S の大きさと繰返し回数に応じて一定のべき乗則に従ってその影響が蓄積されるいわゆるマイナー則²⁾に従い、最終的に当該領域のひび割れ発生に至るものと捉えて整理をおこなった。ひび割れ発生までに経験したそれぞれのひずみ振幅 S について、ひび割れ発生時のひずみ振幅 S' に換算した場合の換算繰返し回数 N' を式-1 により算出した。

$$N' = \left(\frac{S}{S'} \right)^n \times N \quad (\text{式-1})$$

ここに、 S : 経験したひずみ振幅 (μ) S' : ひび割れ発生時のひずみ振幅 (μ)

N : 振幅 S での繰返し回数 (回) N' : 振幅 S を振幅 S' に換算した場合の換算繰返し回数 (回)

n : べき乗数で、ここでは $n=5, 7, 9$ とした。

応力の繰返しの蓄積によりひび割れが発生した着目領域 A-1 及び A-6 について、健全な状態からひび割れ発生時のひずみ振幅 S' で換算繰返し回数 N' の合計 $\Sigma N'$ の応力繰返しを受けた場合、ひび割れが発生すると見なせる。このときのべき乗数 n については現在のところ知見がないため、仮にべき乗数 $n=5, 7, 9$ と設定して整理した結果を図-5 に示す。データ数が少なく定量的な信頼性には課題があるものの、プレストレスを導入した梁部材について少なくとも、何らかの理由により引張縁にひび割れが生じた場合には、梁としては下端の曲げ応力がひび割れ発生限界以下程度であっても、その繰返しに対してひび割れは進展する可能性のある結果となった。

5. まとめ

本試験で確認された現象のメカニズムやそれに支配的な要因には不明な点があるものの、プレストレスを導入した部材であっても、荷重条件によって引張応力の発生を許容する場合には、それによって実際にひび割れが生じる可能性の程度や、仮にひび割れが生じた場合にそれが想定される応力変動の繰返しに対して進展する可能性及びその程度から所要の耐荷性能が設計で考慮する期間に維持されることの確実性について考慮することが必要である可能性が示された。

参考文献

- 1) 恒国, 加藤, 魚本: 曲げひび割れが生じた PC 梁部材の残存プレストレス力の推定手法に関する研究, 第 19 回シンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, 2010.10
- 2) Miner, M.A.: Cumulative Damage in Fatigue, Journal of Applied Mechanics, Vol.12, pp.A159~A164, 1945

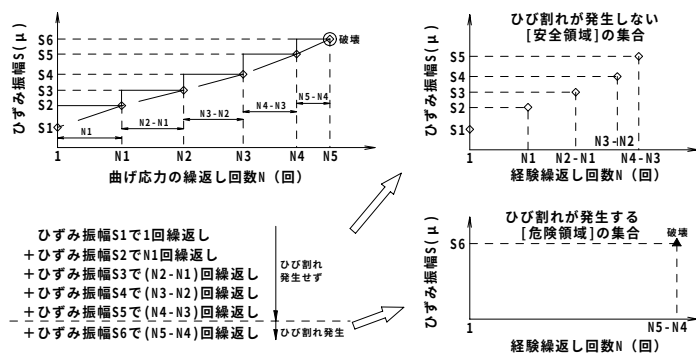


図-4 ひずみ振幅と繰返し回数の整理要領

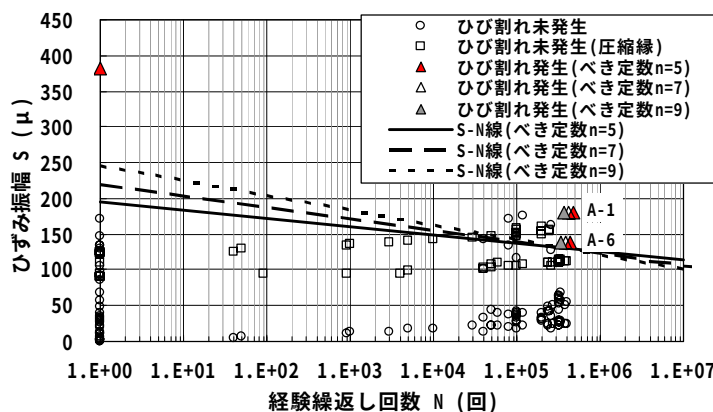


図-5 推定した $S-N$ 関係図