

# 繰返し曲げ荷重下におけるコンクリートのひずみ変化と疲労寿命に関する研究

東京農業大学 学生員 榎本義昭 東京農業大学 正会員 小梁川雅  
 東京農業大学 正会員 竹内康 東京農業大学 正会員 牧恒雄

## 1. はじめに

本研究はコンクリート舗装の設計寿命である 20 年間の供用を経た国道 4 号線黒磯バイパス開削供試体（以下、黒磯供試体）と、実験室で作製した供試体（以下、実験室供試体）を使用し、繰返し曲げ応力下のコンクリートが破壊に至までの応力 - ひずみ関係を比較し、供用を受けた影響評価を行い疲労寿命推定の可能性を検討した。

## 2. 実験の概要

(1) 供試体 黒磯、実験室供試体ともに寸法 150×150×530mm の曲げ試験用供試体である。実験室供試体では供試体強度の安定を考慮し、3 ヶ月以上養生させたものを 140 本作製した。また、黒磯供試体では表面に縦ひび割れが観察されたコンクリート版から切り出したものを非健全部、ひび割れの無い版から切り出したものを健全部と呼び、各部 30 本準備した。

(2) 载荷方法 試験は油圧サーボ式材料試験機を用い、曲げ強度試験(JIS A 1106)、曲げ疲労試験ともに 3 等分 2 点载荷を行った。実験室供試体の曲げ強度  $\sigma_s$  は各バッチ 3 本、黒磯供試体は各部で 10 本ずつの試験から求めた。疲労試験は、最大応力  $\sigma_{max}$  を静的強度  $\sigma_s$  で除した応力レベル  $S$  を設定し、5Hz の正弦波形荷重を破壊まで与えた。なお、応力レベルの設定は実験室、黒磯供試体ともに 0.9, 0.8 とした。

(3) 測定方法 疲労試験過程におけるひずみ挙動はコンクリート供試体表面に貼付したひずみゲージによって測定した。各供試体のひずみ測定位置は圧縮・引張・中立軸位置とし、インターバル測定で一定繰返し数毎に破壊

直前までひずみを記録した。

## 3. 応力 - ひずみ関係の傾きの推移

本研究では最大応力時のひずみを最大ひずみ、最小応力時のひずみを最小ひずみと定義した。応力 - ひずみ曲線の最大、最小ひずみを結ぶ直線の傾きは弾性係数に類似する性質を表すものである。破壊までの傾きの変化と破壊回数に対する各载荷回数の割合の関係を図-1 に示す。図から、黒磯・実験室供試体ともに応力 - ひずみ関係の傾きは、载荷開始からほぼ一定であるが破壊直前に急激に変化する傾向が確認された。しかし、この傾向は応力レベル、供用履歴 に関係なくすべての供試体において確認され、応力 - ひずみ関係の傾きによって供用履歴の影響を評価することは困難と考えられる。また、図-2 に示すように、実験室供試体に比べて黒磯供試体の平均破壊回数は少なく、傾きがほぼ一定である領域が短いことから、供用履歴の影響評価するためには疲労試験初期の応力 - ひずみ関係の特徴を示す別の指標を検討する必要があることがわかった。そこで、ひずみの推移がほぼ一定の領域におけるひずみ速度と破壊回数の関係を図-3 に示した。ひずみ速度と破壊回数には高い相関関係がみられ、破壊回数に伴いひずみ速度が減少する傾向が確認された。また、実験室、黒磯供試体の値はほぼ同一近似曲線上に重なることから、供用履歴を受けてもひずみ速度と破壊回数の関係には影響を及ぼさないことが分かった。したがって、この関係式を用いることにより、疲労試験開始からひずみが一定となる領域が確認できる時点まで試験を行い、そのひずみ速度を求めることで、コンクリート

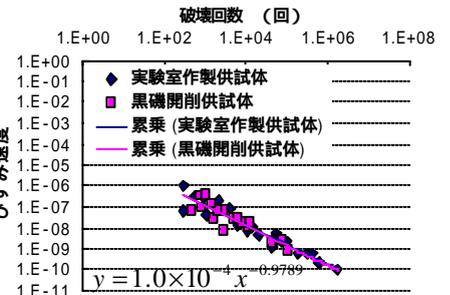
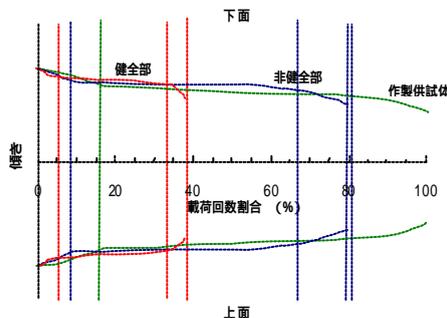
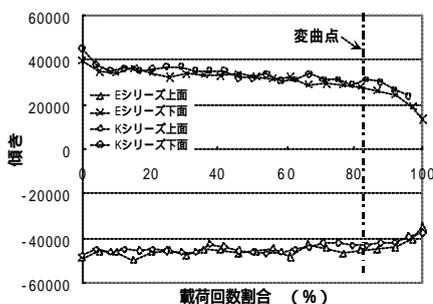


図-1 载荷回数割合に伴う傾きの推移 図-2 破壊回数による傾き推移の比較 図-3 ひずみ速度と破壊回数の関係

キーワード 曲げ疲労, 交通履歴, ひずみ速度, 散逸エネルギー

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 TEL.03-5477-2344 FAX.03-5477-2620

の疲労寿命の推定を行うことができると考えられる。

4. 散逸エネルギーによる検討

疲労寿命の推定を破壊に消費されるエネルギーから検討する試みも報告されている。魚本ら<sup>1)</sup>は、破壊は材料が消費する総エネルギー量（累積散逸エネルギー）と密接な関係があるという想定から、PC単純梁で正負の繰返し荷重を行い、ほぼ同一の累積散逸エネルギー量で破壊に至ることを見出した。この研究成果を踏まえ、本研究では荷重回数割合と散逸エネルギー（ヒステリシスループで囲まれる面積）の関係から黒磯供試体の供用履歴の影響を検討することとした。

(1) 破壊回数と散逸エネルギーの関係 荷重1サイクル当たりの散逸エネルギーを荷重回数に伴い累積し、累積散逸エネルギーを求めたところ、供試体が破壊に至るまでの累積散逸エネルギーと破壊回数との関係は、図-4に示すように両対数軸上で直線関係にあり、強い相関が見られた。しかし、同じ条件下の供試体でも破壊回数が大きいほど累積散逸エネルギーも大きくなるというものであった。魚本らとの相違は、荷重条件によるものだと考えられる。すなわち、魚本らが正負両側に跨る繰返し荷重を行いヒステリシスループを測定したのに対し、本研究では片側（最小荷重が0以上）の荷重条件であったためと考えられる。

(2) 荷重回数に伴う累積散逸エネルギーの伸び率 供試体が破壊に至るまでの累積散逸エネルギーは破壊回数に依存することから、荷重回数に伴う累積散逸エネルギーの増加割合に着目し、散逸エネルギーの伸び率  $E_e$ （以下、伸び率とする）を考える。伸び率は、ある荷重回数  $n$  の累積散逸エネルギー  $E_n$  から前荷重回数  $n - 1$  の累積散逸エネルギー  $E_{n-1}$  を引いた増加量を  $E_n$  で除し、百分率で表される。

$$E_{en} = (E_n - E_{n-1}) / E_n \times 100 (\%)$$

この伸び率と荷重回数割合の関係から黒磯供試体の供用履歴の影響を検討した。各応力レベルの荷重回数に伴う伸び率を図-5(a)(b)に示す。黒磯・実験室供試体共に各応力レベルで破壊回数の80%前後で伸び率は約10%に収

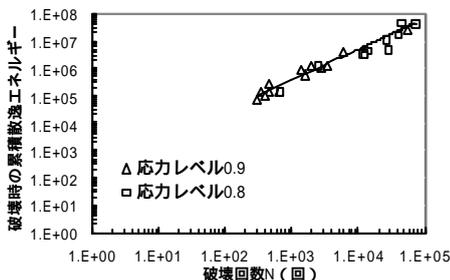


図-4 破壊回数と累積散逸エネルギーの関係

束し、供用履歴の影響は見られなかった。そこで、応力-ひずみ関係の傾き推移の検討を踏まえ、荷重初期の特性を見出すために、黒磯・実験室供試体の各応力レベルにおける伸び率の近似曲線の切片を求め、応力レベルと荷重回数割合1%にあたる疲労試験初期の伸び率の関係を図-6に示した。図から疲労試験初期の累積散逸エネルギーの伸び率は、応力レベルが小さいほど高い値を示したが、供用履歴の影響を示す結果とはならなかった。以上のことから、コンクリートの曲げ疲労性状を散逸エネルギーの概念から明確な結論を得ることは出来ず、黒磯開削供試体の供用履歴を受けた影響を評価することは困難であるといえる。

5. まとめ

1. ひずみの推移が一定となる領域のひずみ速度と破壊回数の間には高い相関があり、供用履歴の影響を受けなかったことが分かった。またこの関係を用いることによりコンクリートが破壊に至るまでの試験を行わなくても初期のひずみ速度を求めることで、コンクリートの残存寿命の推定を行うことができると考えられる。

2. 破壊時の累積散逸エネルギーは破壊回数に強く依存し、疲労試験初期の伸び率は、応力レベルが低いほど高い値を示す傾向が見られたが、供用履歴を評価することは出来なかった。

<参考文献> (1) 魚本健人・矢島哲司・本郷和徳：繰返し曲げを受けるRC梁の消費エネルギーによる破壊特性評価，土木学会論文集，1993.2 (2) 岸谷孝一・西澤紀昭他：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 疲労，技報出版

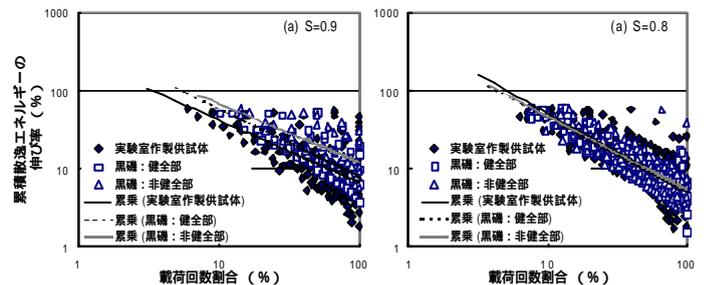


図-5 累積散逸エネルギーの伸び率

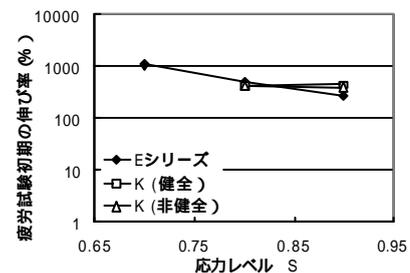


図-6 累積散逸エネルギー-疲労試験初期の伸び率