

論文

[1101] 繰り返し荷重下におけるコンクリートの変形特性に関する研究

正会員 阪田憲次 (岡山大学土木工学科)

正会員○綾野克紀 (岡山大学土木工学科)

荒川敏之 (岡山大学大学院)

1. はじめに

コンクリート構造物の限界状態設計法においては、コンクリートの強度特性のみならず、変形特性をも正しく把握しておく必要がある。すなわち、持続荷重や変動荷重によって生じる、時間に依存するコンクリートの変形挙動を正しく理解しておくことが、コンクリート構造物の使用性の検討上、きわめて重要な要件となる。

コンクリートに作用する応力が一定の場合、コンクリートの変形量は、これまでに提案されている種々のクリープ予測式を用いるか、あるいは、実際に実験を行うことによって求められる。プレストレスト力の減退や応力の再配分が問題となる場合等、すなわち、コンクリートに作用する応力の大きさの変化が小さい場合には、クリープの重ね合わせ則に基づき、クリープひずみを求めることができる。また、クリープひずみと応力との関係を非線形として扱うクリープ硬化則を用いれば、コンクリートに作用する応力の大きさの変化が大きい場合においても、クリープひずみを正確に予測することが可能である[1]。一方、コンクリート構造物に作用する荷重の中で、繰り返し荷重の占める割合およびその作用頻度が大きい場合には、材料の疲労強度をもとに疲労に対する安全性の検討が行われる。しかし、疲労が問題となる荷重下においては、コンクリートの変形に対する検討は行われない。すなわち、クリープ硬化則等のクリープ解析手法が適用可能な繰り返し荷重よりも、さらに短い周期で載荷される繰り返し荷重下においては、コンクリートの変形量が設計において考慮されることはない。

本研究は、80日～320日の周期で載荷される変動荷重下におけるコンクリートのクリープ挙動をもとに、さらに短い周期で載荷される繰り返し荷重下におけるコンクリートの変形量を予測する手法について検討する。また、コンクリートの変形挙動に繰り返し荷重の周期が及ぼす影響を調べるために、上限荷重を一定とし、0.25秒～2,500秒の周期の繰り返し荷重を載荷する実験を行った。

2. 実験概要

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントで、粗骨材には碎石 (比重: 2.73, 吸水率: 0.76, F.M.: 6.68) を、細骨材には川砂 (比重: 2.62, 吸水率: 1.78, F.M.: 2.81) を使用した。表-1にコンクリートの配合を示す。なお、水セメント比60%のコンクリートは、変動荷重が載荷される実験に、水セメント比50%のコンクリートは、繰り返し荷重が載荷される実験に用いられた。

変動荷重は、図-1～図-6に示される方法に従い載荷した。供試体は、14日間水中養生した後21日間気中養生を行った10cm×10cm×38cmの角柱供試体を用いた。実験は、温度 $19 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $68 \pm 7\%$ の恒温・恒湿室内で行い、ひずみの測定には、検長250mm、最小目盛り1/1000mmのホイットモア式ひずみ計を用いた。持続応力の導入にはPC鋼棒 ($\phi 13\text{mm}$) を用いた。また、持続応力の減衰を防ぐために、持続荷重の大きさが変化した後、3日、10日および30日目に、再導入時の

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材比 (%)	単 位 量 (kg/m ²)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	9.7±1.3	1.2	60.0	47.7	200	333	842	963
20	3.3±0.6	1.9	50.0	48.5	180	360	872	963

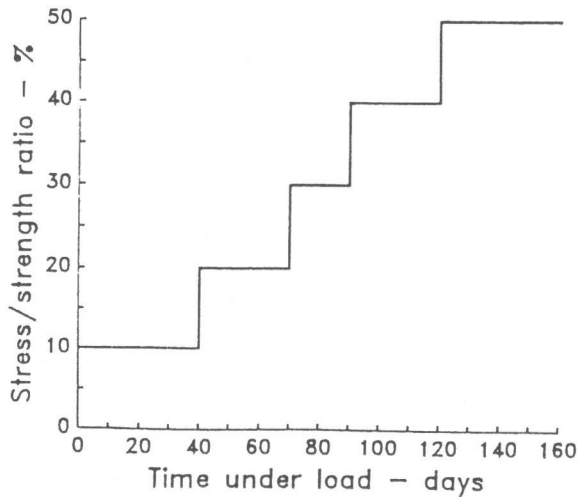


図-1 変動荷重 (パターン-1)

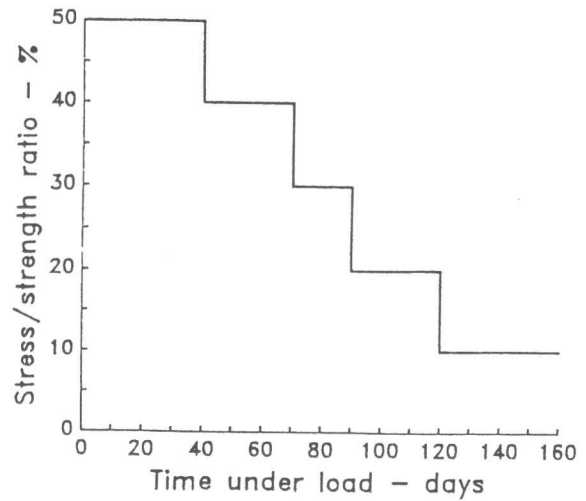


図-2 変動荷重 (パターン-2)

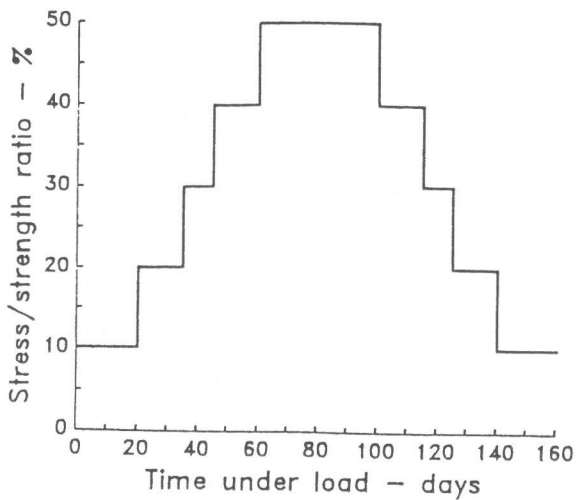


図-3 変動荷重 (パターン-3)

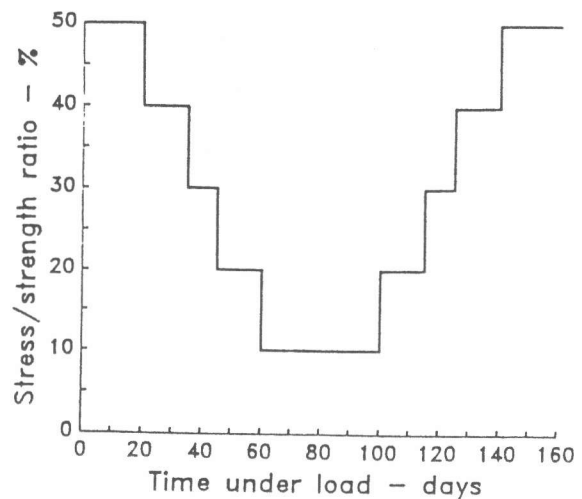


図-4 変動荷重 (パターン-4)

応力と応力変化直後の応力との差が±2%以内になるよう持続荷重の再導入を行った。

繰り返し荷重は、図-7に示される方法に従い载荷した。すなわち、繰り返し荷重の上限荷重(応力強度比で60%)までの静的载荷を3回繰り返した後、繰り返し荷重を25,000秒間载荷するサイクルを20回行った。繰り返し荷重の下限荷重は、応力強度比で10%、30%および50%で、周期は、0.25秒、2.5秒、25秒、250秒および2,500秒である。荷重の载荷は、島津製作製サーボバル

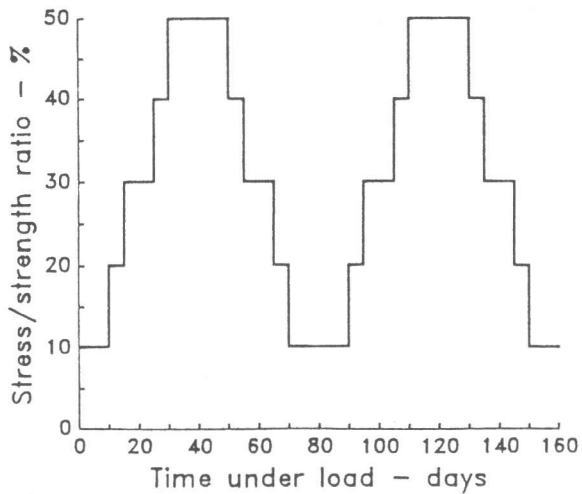


図-5 変動荷重 (パターン-5)

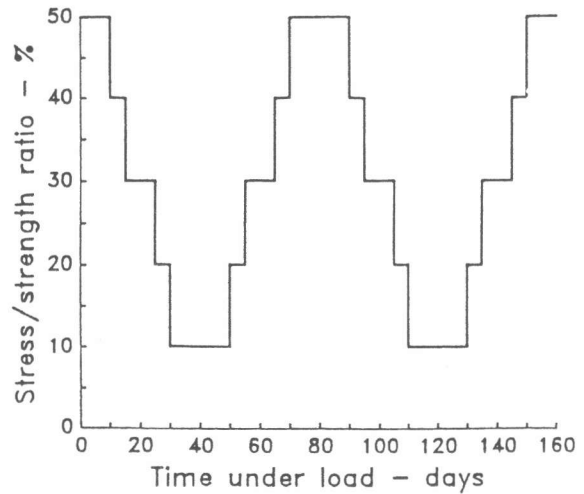


図-6 変動荷重 (パターン-6)

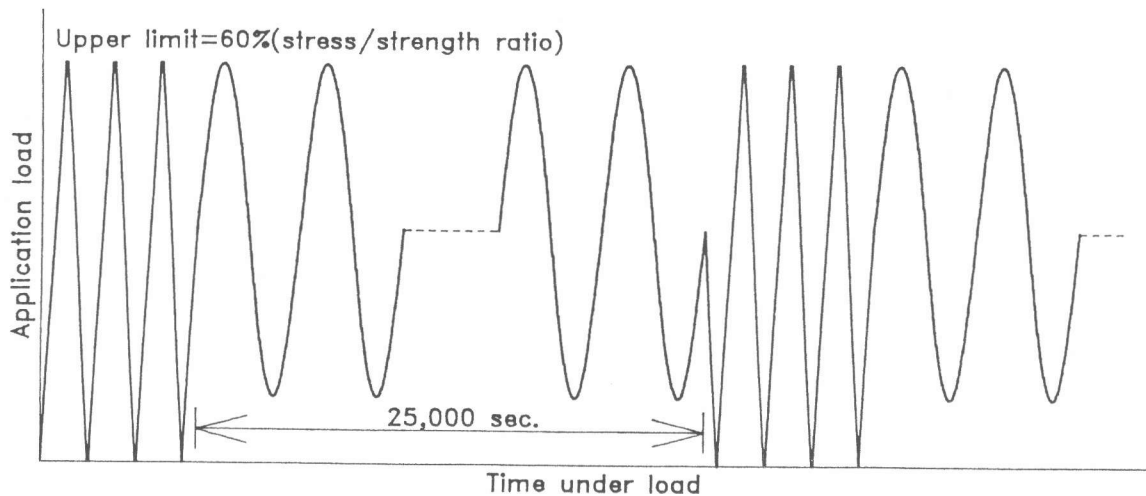


図-7 繰り返し荷重の載荷方法

サー (容量40 t) を用いて行い、ひずみの測定には、箔フェスセルゲージ (グリッド長さ10mm) を用いた。実験に用いた供試体は、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体で、14日間水中養生した後、180日間以上の気中養生を行った。

変動荷重を載荷する実験に用いられたコンクリートの初載荷時材令における圧縮強度は、36.1 Mpaで、繰り返し荷重を載荷する実験に用いられたコンクリートの実験開始時材令における圧縮強度は、44.1Mpaである。

3. 実験結果および考察

3.1 変動荷重下におけるコンクリートのクリープひずみ

図-8は、図-1, 図-3および図-5に示した変動荷重を載荷したコンクリートのクリープひずみの経時的变化を、また、図-9は、図-2, 図-4および図-6に示した変動荷重を載荷したコンクリートのクリープひずみ経時的变化を示したものである。○が、実験値を、細実線が、筆者らの提案するクリープ硬化則[2]に基づき計算した結果を示している。また、太破線は、変動

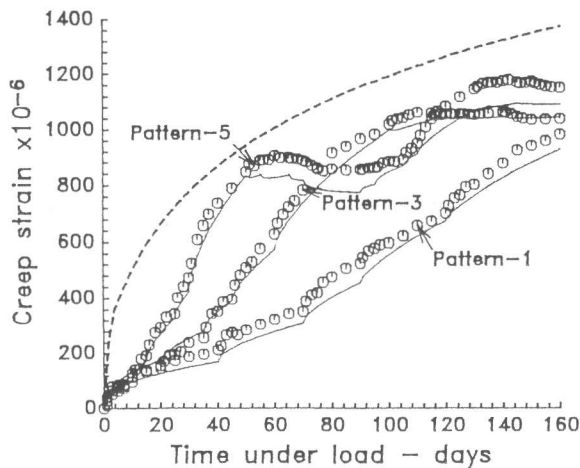


図-8 変動荷重下におけるコンクリートのクリープひずみ

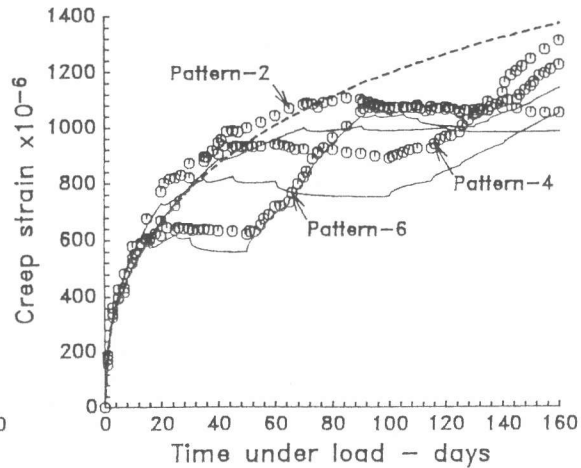


図-9 変動荷重下におけるコンクリートのクリープひずみ

荷重を初載荷した材令と同じ材令において、変動荷重の上限荷重と等しい一定持続荷重を載荷したコンクリートのバージンクリープひずみを示している。

筆者らのクリープ硬化則に基づく計算値は、実験値とかなり良く一致していることが分かる。しかし、持続応力の変化毎にクリープひずみを正確に予測するの必要がなければ、変動荷重下のクリープひずみは、周期が短くなるにつれ、変動荷重を初載荷した材令に変動荷重の上限荷重と等しい一定持続荷重を初載荷したコンクリートのバージンクリープひずみに漸近するといえる。特に、変動荷重下のコンクリートに上限荷重が載荷されている期間においては、周期が長い場合においても、変動荷重下のコンクリートのクリープひずみは、バージンクリープひずみに一致すると見なしてもよいと思われる。

3. 2繰り返し荷重下におけるコンクリートの変形挙動

図-10および図-11は、25,000秒間(約6.94時間)の繰り返し荷重を載荷した後、荷重を除荷し測定されたひずみを示したものである。これらの図中では、応力強度比で10%、30%および50%の下限荷重によって行われた実験データを、それぞれ◇、□および△で示している。○と実線で示された曲線は、繰り返し荷重の上限荷重に等しい一定持続荷重が載荷されたコンクリートの同一載荷期間におけるクリープひずみを示している。なお、図-10は、繰り返し荷重の周期が25秒の場合で、図-11は、繰り返し荷重の周期が2,500秒の場合である。

繰り返し荷重によって、クリープひずみまたは乾燥収縮ひずみ以外に、載荷期間あるいは繰り返し回数に依存するひずみが存在するとすれば、繰り返し荷重を受けたコンクリートのひずみは、一定持続荷重下のコンクリートのクリープひずみよりも大きくならなければならない。図-10より、25秒の周期で繰り返し荷重を載荷した場合には、コンクリートのひずみは、下限荷重の大きさに関係なくほぼ同じ大きさで、一定持続荷重下のクリープひずみの経時変化にも一致すると思われる。また、図-11からは、2,500秒の周期で繰り返し荷重が載荷される場合には、下限荷重によってコンクリートひずみの経時変化が異なることが分かる。しかし、強度比で50%の下限荷重を載荷されたコンクリートひずみを除けば、強度比で10%の下限荷重を載荷されたコンクリ

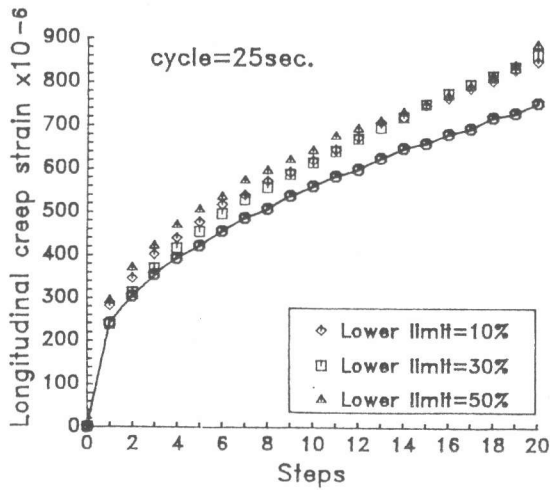


図-10 繰り返し荷重下におけるコンクリートひずみの経時的変化

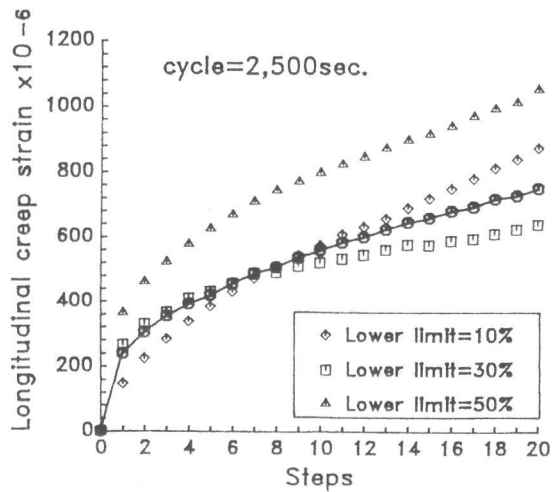


図-11 繰り返し荷重下におけるコンクリートひずみの経時的変化

ートのひずみと強度比で30%の下限荷重を載荷されたコンクリートのひずみの大きさはほぼ等しく、繰り返し荷重の上限荷重と同じ大きさの一定持続荷重下にあるコンクリートのクリープひずみにほぼ一致すると考えられる。

図-12は、繰り返し荷重を載荷されたコンクリートの上限荷重（強度比で60%）載荷時における弾性ひずみの経時的変化を示した図である。繰り返し荷重が載荷される前に測定された上限荷重載荷時の弾性ひずみの値を0としている。ただし、○と太実線で示したものは、上限荷重と同じ大きさの一定持続荷重を載荷されたコンクリートのデータで、その他のデータは、周期

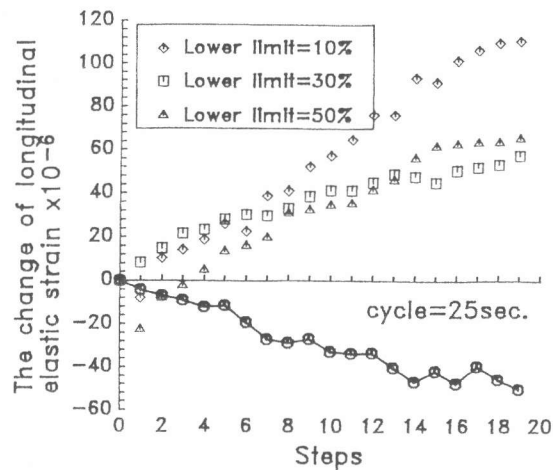


図-12 弾性ひずみの経時的変化

25秒の繰り返し荷重を載荷されたコンクリートのデータである。この図より、一定持続荷重下におけるコンクリートの弾性ひずみが、載荷期間の経過とともに減少しているに対し、繰り返し加重下のコンクリートの弾性ひずみは、繰り返し回数の増加とともに増加していることが分かる。すなわち、繰り返し荷重下のコンクリートは、疲労損傷を受けているといえる。従って、繰り返し荷重下のコンクリートのひずみの経時的変化は、一定持続荷重下にあるコンクリートのクリープひずみの経時的変化に類似しているが、その発生メカニズムは、全く異なるものと考えられる。

図-13～図-15は、同じ大きさの下限荷重下で、繰り返し荷重の周期が異なる場合におけるコンクリートひずみの経時的変化を示したものである。○と太実線で示されたデータは、上限荷重と同じ大きさの一定持続荷重を載荷されたコンクリートのデータである。繰り返し荷重の周期が0.25秒のとき、強度比で10%と30%の下限荷重が載荷されたコンクリートは、約100万回繰り返し荷重が載荷されたとき、また、強度比で50%の下限荷重が載荷されたコンクリートは、約180万回繰り返し荷重が載荷されたとき破壊に至った。図-13～図-15より、コンクリートを破壊に至らせ

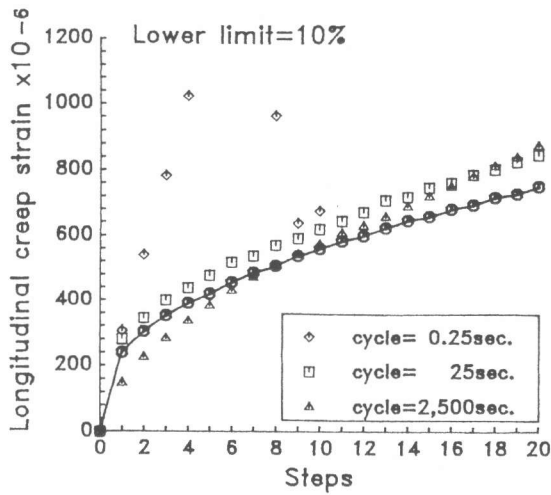


図-13 動的繰り返し荷重下におけるコンクリートひずみの経時的変化

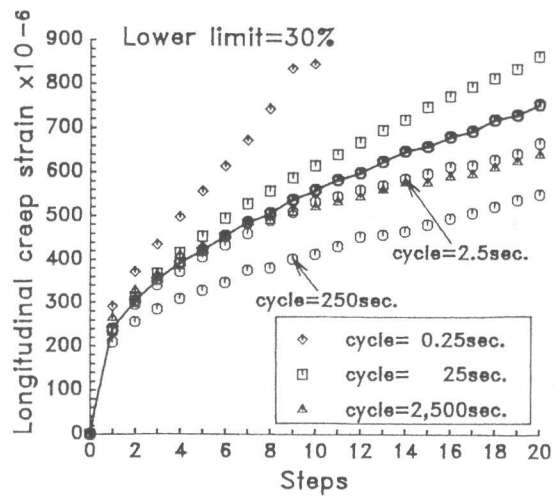


図-14 動的繰り返し荷重下におけるコンクリートひずみの経時的変化

る0.25秒の周期の繰り返し荷重が載荷される場合を除けば、周期の長さが、コンクリートひずみの経時的変化に影響を及ぼすとは考えられない。

4. まとめ

繰り返し荷重によるコンクリートひずみの発生メカニズムと一定持続荷重下におけるクリープひずみの発生メカニズムとは異なるものと考えられる。

しかし、疲労破壊を生じさせない繰り返し荷重下においては、繰り返し荷重によって生じるコンクリートひずみの経時的変化を、繰り返し荷重の上限荷重に等しい一定持続荷重を載荷されたコンクリートのクリープひずみを用いて表してよいと思われる。

参考文献

- 1) 阪田憲次・綾野克紀・檜垣智：変動応力下におけるコンクリートのクリープ予測に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1、pp.429～434、1991.6
- 2) 既出1)

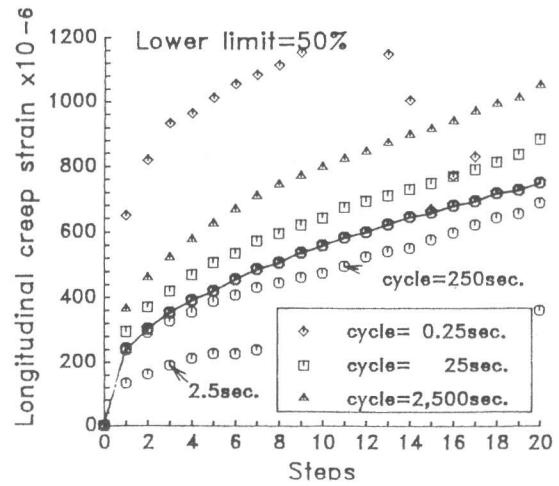


図-15 動的繰り返し荷重下におけるコンクリートひずみの経時的変化