

[142] コンクリートの曲げ疲労性状

正会員 小玉 克巳 (武蔵工業大学)

正会員 ○ 仲宗根 茂 (武蔵工業大学)

1 まえがき

コンクリート構造物においては、ひびわれが発生すれば、構造物は静的耐力以下の荷重でも繰返し载荷に伴ってひびわれが進行し、ついには構造物が使用限界に至るのである。繰返し応力を受けるコンクリート構造物において、劣化の発端は、コンクリートの微小ひびわれであり、このひびわれによってコンクリートの劣化が促進されるのである。よって繰返し応力を受けるコンクリート部材の劣化性状を検討することは、この種の構造物の設計施工を合理的に行うために極めて重要である。またコンクリートの曲げ疲労性状を検討するためにアコースティック・エミッション法(以下A E法と呼ぶ)を用いた研究は少ない¹⁾。本研究は、コンクリート供試体に曲げ繰返し荷重を作用させコンクリートの疲労性状をひずみの測定と共に、A E法を用い、ひずみとの関連において、繰返し载荷によるコンクリートの曲げ疲労性状および、繰返し载荷を受けたコンクリートの劣化性状について検討したものである。

2 実験概要

コンクリートの配合は表-1に示す通りである。供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体を使用し、繰返し試験中のコンクリートの材令による影響および乾燥による影響を避けるため、材令28日後、約5ヶ月室内静置したものを使用した。コンクリートのひずみは図-1に示す様にワイヤーストレインゲージを貼付し動的ひずみ測定器および静的ひずみ測定器を用いて測定した。さらにコンクリートの静的および動的試験中のコンクリートのひびわれ挙動を知るために、図-2に示す様なA E装置を用いA Eの発生状況を検知した。曲げ繰返し試験における上限応力は、静荷重試験より求めた曲げ強度の40~90%の範囲の応力比、または、繰返し载荷試験を行う供試体と同じバッチのコンクリートで製作した供試体について静的曲げ試験を行い、各供試体ごとに供試体底面の引張ひずみの平均値を求め、応力~ひずみ曲線を描き、この応力と曲げ強度比から応力比~ひずみ曲線を描いた。バッチを同じくする供試体の応力比~ひずみ曲線を平均した曲線に基づき、上限荷重载荷時のひずみより上限応力を設定したのである。以上2通りの方法による平均値をもって、静的強度に対する比を上限応力比とした。これは、供試体によるばらつきを考慮したためである。下限応力比は、静的曲げ強度の7%とほぼ一定とした

表-1 配合表

粗骨材 最大寸 法 (mm)	スラン プ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	7.5	4.0	43	34	150	353	619	1243

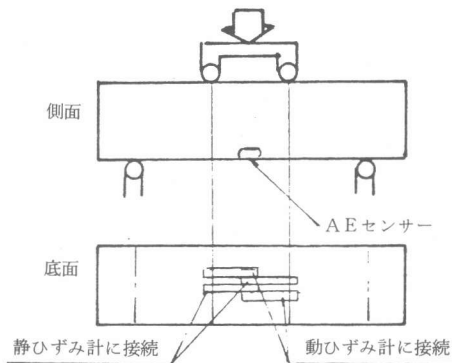


図-1 ワイヤーストレインゲージ貼付位置

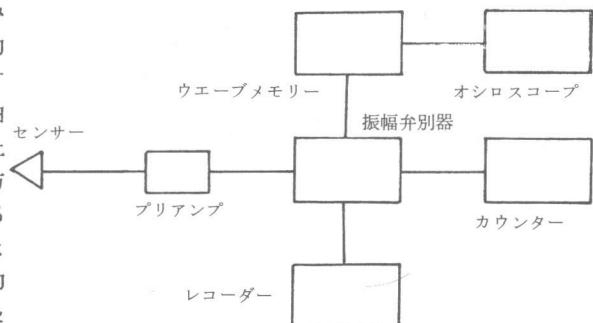


図-2 A Eブロックダイアグラム

上限応力比40～90%の範囲の試験は、サーボバルサー型疲労試験機を使用し、繰返し速度5～10Hzで、最大1000万回まで曲げ繰返し試験を行った。一部の試験に於て、曲げ繰返し試験に於てもAEカウンタ数の測定をおこなった。また繰返し開始時（第一回目の静的載荷時）のAEの測定と200万回～1000万回で破断しなかった供試体については、繰返し終了後において静的曲げ載荷試験を行いAEの測定を行った。

3 実験結果及び考察

3-1 静的載荷応力とひずみおよび累積AEカウンタ数の関係

静的曲げ載荷試験をおこなって載荷応力比に対するひずみと累積AEカウンタ数を測定した結果の一例を示したものが図-3である。図-3より載荷応力比10%程度の低応力からAEがカウンタされている。これは、供試体の支点および載荷点に生ずる試験機治具とのコンクリートの圧壊によるひびわれであって、供試体内部の微小ひびわれの発生を示すものではないと考えられる。載荷応力比の増加とともに累積AEカウンタ数が比例的に増加するが、載荷応力比30%程度からAEカウンタ数は漸増し、さらに載荷応力比50%程度より急激に増加することが認められ、破壊に至ったのである。図-3の載荷応力比とひずみの関係では、載荷応力比60%程度

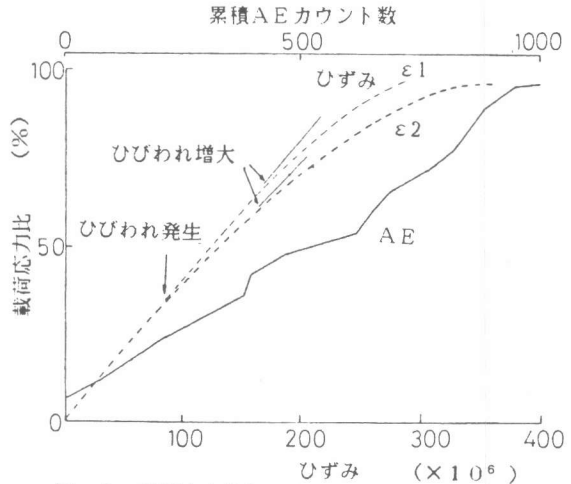


図-3 載荷応力比とひずみ及び累積AEカウンタ数との関係

まで直線的な増加の傾向を示している。しかし、応力比60%を越えるとひずみが増加し、載荷応力比75%ではひずみは更に急増している。載荷応力比90%では、ひずみの増加傾向はますます顕著となり破壊に至ったのである。以上より、載荷応力比30%の低応力時から荷重載荷点間の供試体引張縁には微小ひびわれが発生するものと考えられる、しかしこれらのひびわれは、その後あまり進展せず、載荷応力比60～70%前後からそれまでに載荷点間に発生していた微小ひびわれの一部が成長して大きなひびわれとなり、破壊に至るものと考えられる。

3-2 繰返し載荷によるコンクリートの劣化性状

図-4は、繰返し載荷回数と最大ひずみの増加との関係を示したものである。図-4よりそれぞれの上限応力比における最大ひずみは、繰返し載荷回数の増加と共に大きくなる。その増加傾向は、上限応力比が高いほど顕著となる事が認められる。また最大ひずみの増加は破壊を起こす直前（例えば載荷回数比90%程度）にさらに急激な増加を示す傾向がある。載荷回数比90%はコンクリート内部に多数発生している微小ひびわれが連結しあい顕著なひびわれに進行した時期を示していると思われる。また繰返し載荷の破壊時直前に測定されたひずみは静的破壊時のひずみの150%程度になっている。上限応力比が60%を越えた場合、第一回の静的載荷時に於てすでに微小ひびわれが発生しており、ひびわれは、繰返し載荷に伴って増大するが、ひびわれが発生した後も応力が平衡を保っている。ひびわれが生じた後におけるこの応力の平衡は、粗骨材のかみあいの効果によってもたらされたものであると考えられる。次に繰返し載荷回数の対数を横軸に、累積AEカウンタ数の増加量

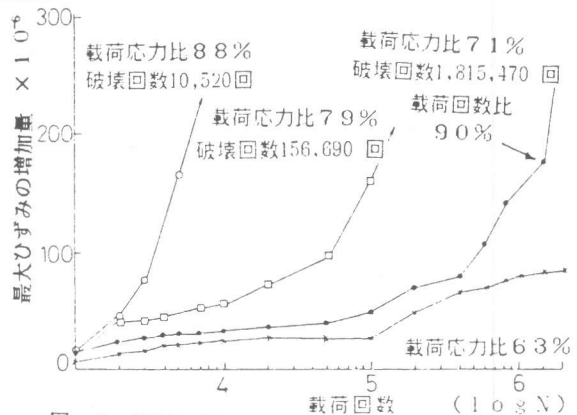


図-4 繰返し載荷回数と最大ひずみの増加量との関係

また繰返し載荷の破壊時直前に測定されたひずみは静的破壊時のひずみの150%程度になっている。上限応力比が60%を越えた場合、第一回の静的載荷時に於てすでに微小ひびわれが発生しており、ひびわれは、繰返し載荷に伴って増大するが、ひびわれが発生した後も応力が平衡を保っている。ひびわれが生じた後におけるこの応力の平衡は、粗骨材のかみあいの効果によってもたらされたものであると考えられる。次に繰返し載荷回数の対数を横軸に、累積AEカウンタ数の増加量

の対数を縦軸にとって示したものが図-5である。図-5より上限応力比63%では、載荷回数の増加に伴いAEもわずかながら増加するが繰返し載荷回数200万回に至ってもAEの増加はそれほど大きくならない。一方上限応力比79%では、破壊した載荷回数の50%程度の繰返し載荷回数まではAEはわずかに発生しているが、50%を越えると増加傾向が大きくなり、繰返し載荷回数比の90%付近よりさらに急激なAEの増加が見られ破壊に至っている。しかし、上限応力比88%では繰返し載荷初期よりAEの発生が大きく繰返し載荷回数が約1万回で破壊に至っている。繰返し載荷初期からAEの発生が大きくなる傾向は上限応力比が高くなるに従い顕著となっている。以上より、上限応力比が高い場合、第一回目の静的載荷の時点で、粗骨材粒とモルタル界面に付着ひびわれが発生し、繰返し載荷を受けることによってモルタルひびわれへと進行し、顕著なひびわれを形成し破壊に至るものと考えられる。さらに表-2に示した載荷応力比と残留ひずみの関係より載荷応力比が高くなるに従い残留ひずみが増大することから、繰返し載荷時に上限応力に対する最大ひずみも大きくなりコンクリートの繰返し試験時における引張ひずみの限界値を超え破壊するものと思われる。

3-3. 低応力による繰返し載荷とコンクリートの劣化性状

図-6は、第一回目の静的載荷時に上限応力まで載荷した時の応力比と累積AEカウント数との関係を示したものである。図-6より上限応力比が大きくなるに従い累積AEカウント数が増大している。図-7は、200万回以上繰返し載荷を終了した後に静的載荷した時の応力比と累積AEカウント数の関係を示したものである。図-7より、上限応力比72%の場合、上限応力比より低い応力比からAEが発生しておりカイザー効果が認められない。これはコンクリート内部においてひびわれの進行がかなり進んでいるものと思われる。しかし上限応力比45%と68%の場合は、上限応力比より高い応力比からAEが発生しており明確なカイザー効果がみられる。図-8は上限応力比78%で10万回繰返し載荷した後静的漸増載荷試験を行い繰返し載荷後の載荷応力比とAE発生状況を検

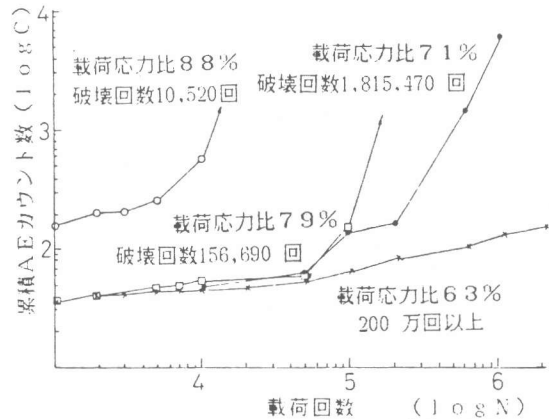


図-5 繰返し載荷回数と累積AEカウント数の増加量との関係

表-2 繰返し載荷終了後の載荷応力比と残留ひずみとの関係

上限応力比 (%)	40	50	60	70
残留ひずみ (μ)	20	23	47	62

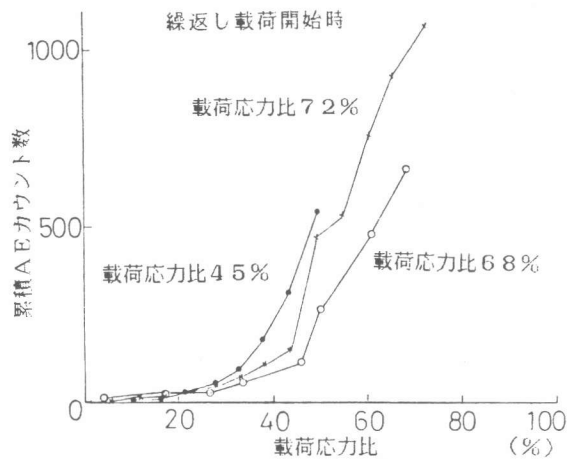


図-6 載荷応力比と累積AEカウント数との関係

表-3 繰返し載荷回数と残留ひずみの関係 (載荷応力比40%の場合)

載荷回数 (10 ⁴)	5	10	20	50	100	200
残留ひずみ (μ)	4	4	7	9	10	10

討したものである。図-8より荷重応力比70%よりAEの発生がみられ、荷重応力比70%ではもはやカイザー効果は認められない。図-9は上限応力比47%で200万回繰返し荷重した後静的漸増荷重試験を行い繰返し荷重後の荷重応力比とAE発生状況を検討したものである。図-9より荷重応力比が上限応力比を超えてもAEの発生がなく上限応力比までは明確なカイザー効果が認められる。漸増荷重応力比が70%よりAEの発生が認められ、それ以上の応力比ではカイザー効果は不明瞭となっている。

さらに表-3よりも明らかな様に、上限応力比40%の低い応力比においては繰返し荷重回数が増加しても残留ひずみが殆ど変化しないことからコンクリート内部のひびわれが進行していないと思われる。

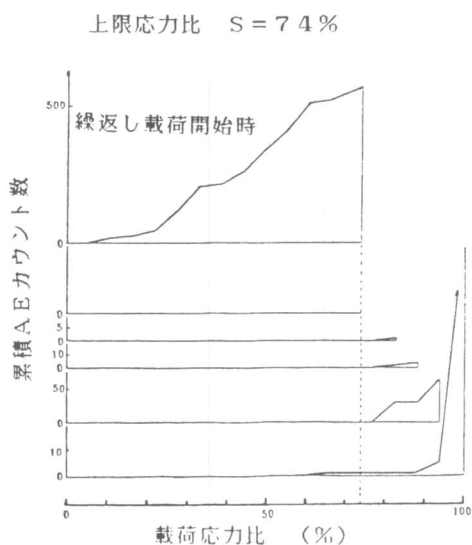


図-8 漸増荷重に伴うAEの発生状況

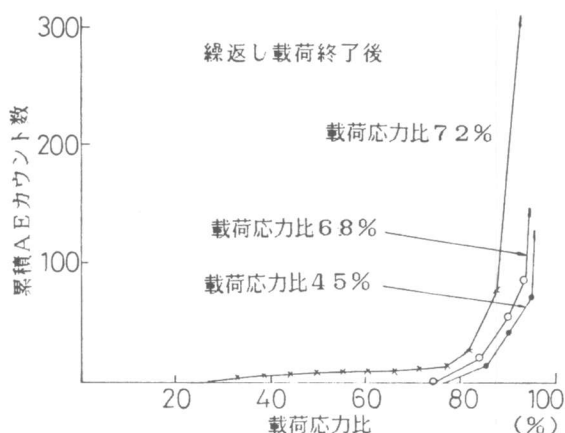


図-7 荷重応力比と累積AEカウンント数との関係

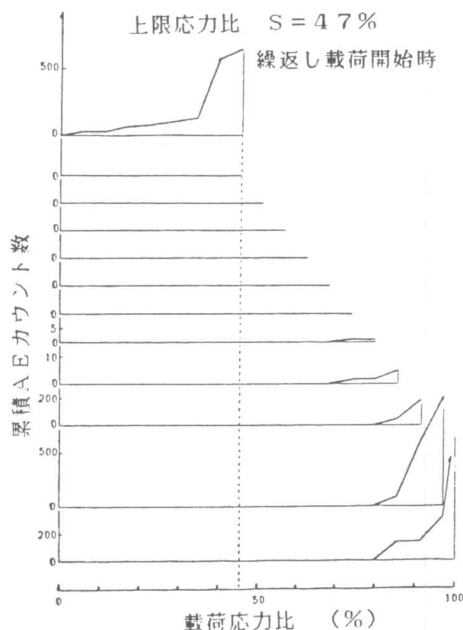


図-9 漸増荷重に伴うAEの発生状況

4 まとめ

本研究の範囲内で次の事が言える。

上限応力比が低い場合(例えば40%)繰返し荷重に伴う累積AEカウンント数の増加も少なく、最大ひずみの増加も見られず、200~1000万回繰返し荷重しても残留ひずみの増加も少ない。さらに疲労後の静的荷重試験において荷重応力比の110~120%の応力比からAEが発生しており明確なカイザー効果が認められることよりコンクリート内部のひびわれが進行していないものと思われる。

参考文献 1) PREDICTION OF FATIGUE LIFE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS USING ACOUSTIC EMISSION MONITORING by Takeo UOMOTO, Morio ONOE and Tadahiro KAKIZAWA
Proceedings of THE 7th International Acousutic Emission symposium