

論文 AE 法によるコンクリート打継ぎ部の付着破壊過程の評価

浅野 雅則*1・国枝 稔*2・鎌田 敏郎*3・六郷 恵哲*4

要旨: 本研究では、打継ぎ部を有するコンクリートの付着破壊過程を AE 法により評価した。実験は、曲げおよびせん断試験のそれぞれを実施し、強度試験値のみでは評価が困難となるひび割れの発生状況や破壊の進展過程を、AE 波形パラメータを用いて検討を行った。その結果、波形パラメータとして最大振幅値を用いた場合、打継ぎ面の処理程度の違いが振幅規模別頻度分布の形状に影響を与え、破壊過程の違いを把握することができた。

キーワード: AE, 打継ぎ部, 付着破壊, 表面処理, 波形パラメータ

1. はじめに

コンクリート打継ぎ部が、破壊に対して十分な抵抗性を有するためには、打継ぎ部の表面処理程度(粗度程度)が重要な要因となる。

コンクリート打継ぎ部の付着性状の評価には、曲げ付着強度や、引張軟化曲線あるいは破壊エネルギー等の破壊力学パラメータなどが用いられている¹⁾。

しかしながら、曲げ付着強度のみによる評価では、最終破壊に至るまでの過程や部材の変形を含めた検討は難しい。また引張軟化曲線や破壊エネルギーを用いた方法では、ひび割れの発生や進展に対する抵抗性が評価可能であるが、曲げ強度と同じく、破壊形態や過程の違いについて評価することはできない。

一方、AE 法²⁾は、コンクリート内部におけるひび割れの発生や進展に起因する弾性波を検出し、破壊過程評価や発生源の情報を得るのに有効な手法である。打継ぎを有するコンクリート部材の性能評価への AE 法の適用例としては、曲げ強度試験時における計測³⁾や、水中不分離性コンクリートにおける直接引張試験時の計測⁴⁾がある。しかしながら、これらは AE の波形パラメータのうち発

生数のみの評価にとどまっており、その他のパラメータに与える影響については検討されていない。

そこで本研究では、新・旧コンクリート間の付着性状とその破壊過程の評価を目的として、打継ぎ部を有するコンクリート部材の曲げ試験(実験 1)を行い、コンクリートの表面処理の違いが、AE 発生特性と波形パラメータに及ぼす影響について検討を行った。また、一方で、打継ぎ部を有するコンクリート部材の一面せん断試験(実験 2)を行い、打継ぎ部付近のひび割れ発生過程の評価を行った。

2. 実験概要

2.1 実験 1 (曲げ試験)

(1) 供試体概要

本実験では、供試体中央に打継ぎ部を設けたはり供試体(10×20×80cm)を作製した。表-1に示すように、新・旧コンクリートには同一配合のコンクリートを用いた。セメントには早強ポルトランドセメントを用い、粗骨材は最大骨材寸法 15mm のものを用いた。また、急激な破断を防止する目的で、供試体の圧縮縁側(上縁から 2cm)に鉄筋(D13)一本を配置した。

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻(正会員)

*2 岐阜大学助手 工学部土木工学科 工博(正会員)

*3 岐阜大学助教 工学部土木工学科 工博(正会員)

*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

表-1 コンクリートの示方配合

実験	新旧	Air (%)	W/C (%)	単体量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
1	—	1.7	50	170	340	756	1002	1.02
2	旧	4.3	55	172	312	793	1002	0.927
	新	4.2	55	171	310	793	1002	0.927

Ad : AE 減水剤

表-2 強度試験結果

実験	新旧	強度 (MPa)		弾性係数 (GPa)	材齢 (日)
		圧縮	曲げ		
1	旧	44.5	5.6	30.5	28
	新	43.8	4.8	28.1	21
2	旧	48.8	4.1	28.1	106
	新	46.8	5.3	28.5	103

圧縮 : φ10×20cm 曲げ : 10×10×40cm

また、旧コンクリートの打継ぎ面として、型枠面、ワイヤブラシによる処理面および、凝結遅延剤シート（目標洗い出し深さ 2mm および 6mm）による洗い出し面の計 4 種類を用いた。

旧コンクリート打設後、7日間湿布養生を行い、所定の表面処理（遅延剤シートを用いた処理のみ脱型直後に処理した）を施した後新コンクリートを打設した。さらに比較のために一体型供試体（旧コンクリートと同時打設）も作製した。なお、各シリーズ 3 本の供試体を作製した。

載荷は、図-1 に示すような 3 等分点曲げ載荷（スパン 60cm）とし、新コンクリートの材齢 21 日の時点で行った。旧コンクリートおよび新コンクリートの強度試験結果を表-2 に示す。

(2) AE 計測

AE 計測には、デジタル AE 計測システムを用いた。AE センサには 150kHz 共振型センサを用いた。検出された AE は、プリアンプにおいて 40dB、メインアンプにおいて 40dB の合計 80dB の増幅処理を行い、しきい値 (45dB) を超えたものについてのみ AE 測定装置を用いて記録した。図-2 に

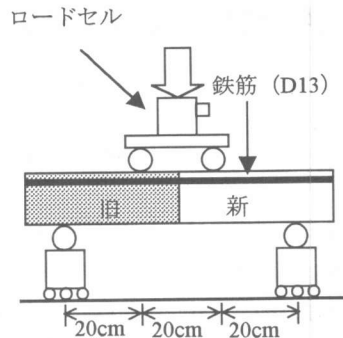


図-1 載荷試験方法

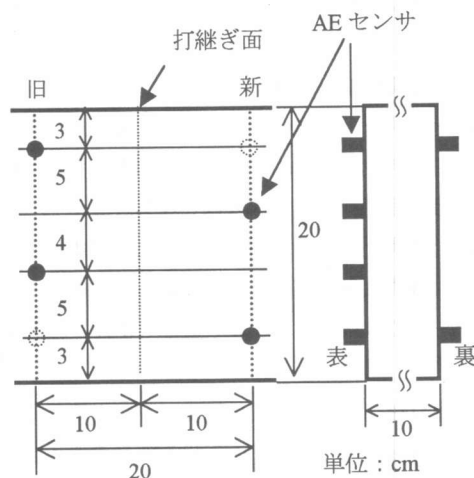


図-2 センサ配置

示すような 6 チャンネル（表面 : 4 チャンネル、裏面 2 チャンネル）にて計測を行った。AE センサは、接触媒質を用いて供試体に貼付した。なお、センサの落下を防止するために、ガムテープで AE センサを固定した。また、載荷時に支点または載荷点と供試体との間にて発生するノイズを除去するために、ゴム板およびテフロンシートをそれらの間に挿入した。

2.2 実験 2 (せん断試験)

(1) 供試体概要

図-3 に示すように、供試体中央部付近にて傾斜角 (45° および 60°) を持つ打継ぎ供試体 (10×10×40cm) を作製し、一軸圧縮載荷による一面せん断試験を行った。新・旧コンクリートには、表-1 に示す配合のコンクリートを使用した。なお、新・旧コンクリートは、長軸方向に対し垂直

表-3 シリーズ名

シリーズ名	傾斜角 (°)	表面処理法
A0	—	—
A64	60	遅延剤 (4mm)
A62	60	遅延剤 (2mm)
A44	45	遅延剤 (4mm)
A42	45	遅延剤 (2mm)

に打設した。旧コンクリートの表面処理には、凝結遅延剤シート（目標洗い出し深さ 2mm および 4mm）による洗い出し面を用いた。実験 1 と同様、旧コンクリートを打設後、3 日間湿布養生を施した後、新コンクリートを打設した。また、一体型供試体（旧コンクリートと同時に作製）も作製した。本実験では 2 種類（45°，60°）の傾斜角に対する検討も行った。傾斜角と表面処理の組み合わせを表-3 に示す。なお、各シリーズ 3 本の供試体を作製した。新コンクリートの材齢 103 日の時点で、一軸圧縮荷重による一面せん断試験を行った。

(2) AE 計測

図-4 に示すように、4 チャンネルにて行った。AE 計測に関するその他の手順や設定は実験 1 と同様とした。

3. 実験 1 の結果および考察

3.1 AE 発生挙動による評価

まず、3 等分点曲げ荷重試験で得られた荷重と AE 発生数の関係を図-5 に示す。なお、本実験では、打継ぎ部に一本のひび割れが生じ破壊した。最大荷重については、すべてのケースにおいて一体型が最も大きく、次に遅延剤 6mm による洗い出し面、遅延剤 2mm による洗い出し面、ワイヤブラシ面、型枠面

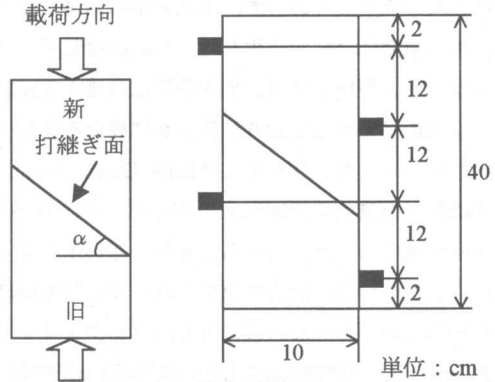


図-3 供試体概要

図-4 センサ配置

の順であり、この傾向は、既往の研究結果¹⁾と一致している。

AE 発生数については、一体型および遅延剤にて洗い出したものは最大荷重に到達するまで AE は

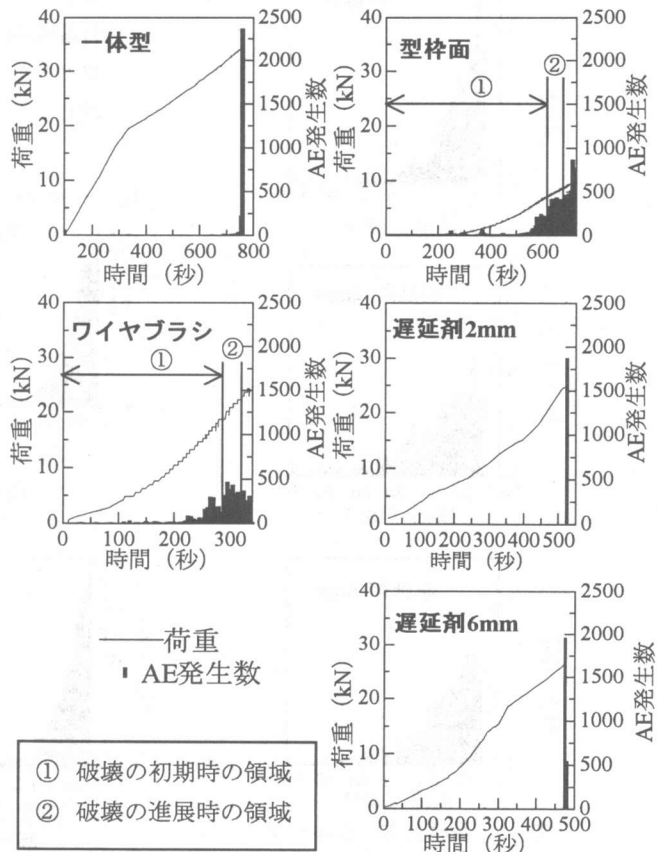


図-5 荷重と AE 発生数の関係

ほとんど発生しておらず、最大荷重に到達すると同時に急激に AE が発生した。これに対しワイヤブラシ面と型枠面では、最大荷重に到達する以前より AE が発生しており、明らかに異なる傾向を示した。ワイヤブラシ面と遅延剤 (2mm, 6mm) では最大荷重はほぼ同程度であるが、異なる AE 発生挙動であった。これらにより、遅延剤による洗出し面の場合、最大荷重に至るまで、付着破壊の発生はほとんどないのに対し、ワイヤブラシによる処理および型枠面に打継いだ場合は低荷重レベルで付着破壊が発生すると考えられる。このような微小破壊は、物質浸透のみずみちとなる可能性があり、鉄筋コンクリート構造物においては、鉄筋腐食の原因となり、耐力の早期低下や美観に影響を与えると考えられる。

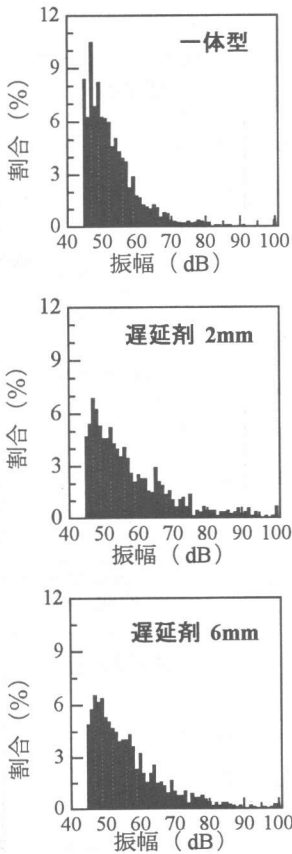


図-6 振幅分布 グループ 1

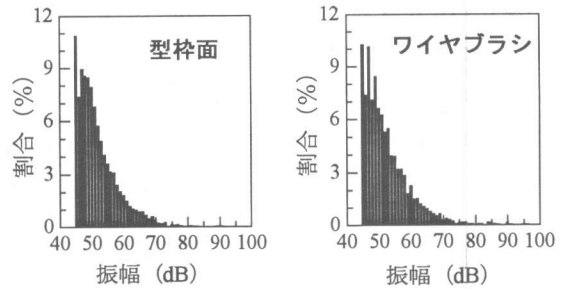


図-7 振幅分布グループ 2 領域①

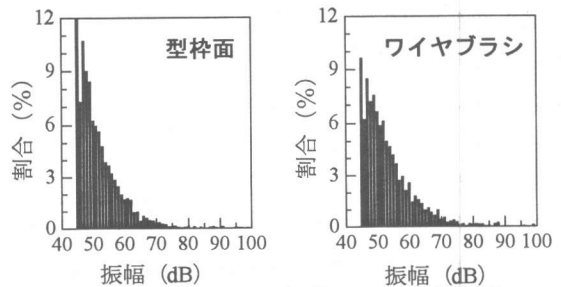


図-8 振幅分布グループ 2 領域②

3.2 最大振幅値による評価

本実験における AE 発生挙動から、一体型、遅延剤 (2mm および 6mm) (グループ 1) と型枠面、ワイヤブラシ (グループ 2) に区別することができる。そこで、グループ 1 については、得られた AE のうち、発生開始から終了に至る時間領域における前半部分についての最大振幅値により破壊過程の検討を行った。前半部分とした理由としては、後半部分でコンクリートの圧縮縁から発生する AE や、鉄筋とコンクリート間から発生する AE の影響を避け、打継ぎ部での付着破壊のみの特徴を引き出すためである。図-6 にグループ 1 の振幅規模別頻度分布を示す。これによれば、一体型は遅延剤と比較して、明らかに小さな振幅の割合が大きく、80dB 以上の大きな振幅の割合が小さいことが分かる。これにより、AE 発生挙動が同様であっても、破壊過程は異なるものと考えられる²⁾。この結果から、洗出し面の凹凸部分の付着破壊は、コンクリート中のモルタルおよび骨材とモルタル界面において発生する付着破壊と比較して、規模の大きな微小破壊が進展している可

能性が考えられる。なお、遅延剤 2mm と 6mm の差はほとんどなかった。

次に、グループ 2 については、破壊の初期および進展時における AE 特性について検討した。図-5 中に示した①と②の領域において得られた最大振幅値による検討を行った。グループ 2 の振幅規模別頻度分布を図-7 に領域①について、図-8 に領域②についてそれぞれ示す。これによれば、型枠面では領域②においては、領域①よりも振幅規模の小さなものの割合が増加しているのに対して、ワイヤブラシでは、振幅分布にあまり変化はみられない。しかも、いずれの領域でも、型枠面よりもワイヤブラシの方が振幅規模の大きなものの割合が大きい。これにより、付着力の弱い型枠面では、ワイヤブラシと比較すると破壊に要するエネルギーが小さいため、結果的に、発生する AE の振幅規模も小さくなっているものと考えられる。また型枠面では、一旦付着破壊が発生してしまうと、その後は破壊が容易に進展してしまうことがうかがえる。

また、図-5 に示すように、型枠面の AE 発生数はワイヤブラシよりもかなり多いが、発生数の規模からこのような現象を把握することは難しく、付着破壊の評価には振幅規模をパラメータとして用いることが重要であることも明らかとなった。

4. 実験 2 の結果および考察

4.1 最大荷重による評価

図-9 に、一軸圧縮荷重により得られた最大荷重値を示す。これによると、遅延剤を用いたものは一体型と同程度であった。しかしながら、遅延剤を用いたものでは傾斜角や洗出し深さによらず明確な差はみられなかった。

4.2 最大振幅値による評価

計測された AE の波形パラメータを用いて破壊過程の検討を行った。ここで、荷重試験時において計測した位置標定結果の例を図-10 に示す。いずれの傾斜角においても、打継ぎ面に沿って破壊が進行したことがわかる。また、この図から、傾斜角 45° に比べて、傾斜角 60° の方が破壊の発生

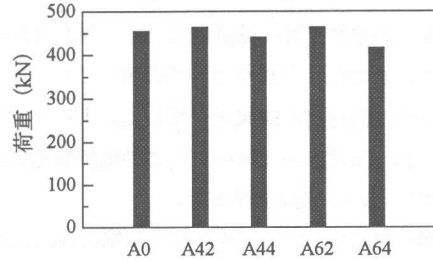
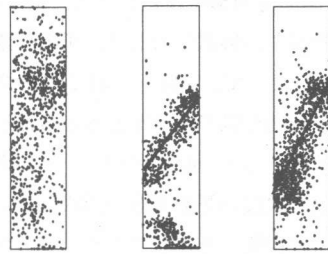


図-9 表面処理および傾斜角の違いと最大荷重の関係



(a)一体型 (b)傾斜角 45° (c)傾斜角 60°

図-10 位置標定結果

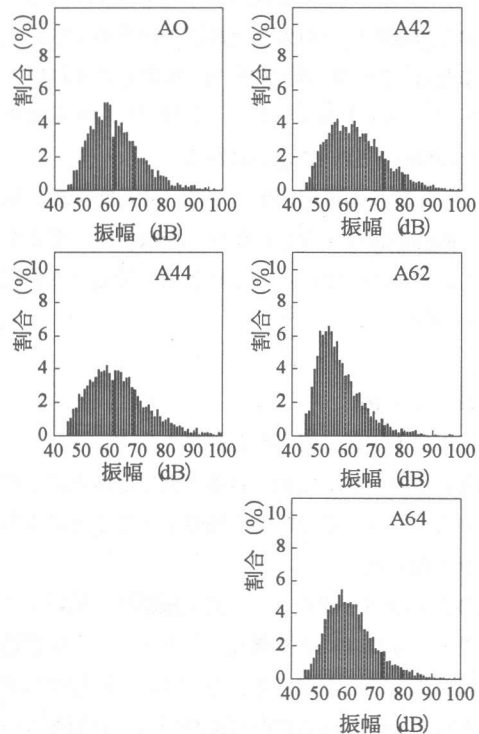


図-11 振幅分布

領域が大きいことが確認できる。これに対し、一

体型は供試体全域に AE が発生したことがうかがえる。試験終了後に確認されたひび割れは打継ぎ部に一本のひび割れが生じて破壊しており、このことは位置標定の結果と一致した。よって、本実験における波形パラメータはこの位置標定されたものについて解析を行った。

図-11 に各シリーズごとの振幅規模別頻度分布を示す。A44 と A42 シリーズの振幅規模別頻度分布の形状はほぼ同じであった。またこれらは、A0 シリーズの分布形状に近かった。A0 シリーズは打継ぎ部がない供試体であり、圧縮破壊したと考えられる。よって、A44 と A42 シリーズは圧縮破壊に近い破壊形態であったと考えられる。また、これらと比較すると、A64 シリーズおよび A62 シリーズの振幅規模別頻度分布の形状は、ピーク位置が小さい振幅側に存在しており、明らかに異なる破壊であったと考えられる。さらに、A64 と A62 シリーズを比較すると、A62 シリーズは A64 シリーズに比べ、ピーク位置が小さい振幅側に存在しており、80dB 以上の大きな振幅の割合が小さい傾向にある。これは、既往の研究⁵⁾を参考にすれば、A62 シリーズは A64 シリーズに比べて、せん断すべりの傾向が強いことがわかる。

また、既往の研究結果⁶⁾では、せん断試験の場合、凹凸の程度が大きい程せん断抵抗性は高くなることがわかっている。これも AE 計測による傾向と一致した。

5. まとめ

以下に本実験で得られた結果を示す。

- (1) 曲げ試験においては、打継ぎ面の処理程度差により、異なる AE 発生特性となることが明らかとなった。
- (2) 波形パラメータのうち、最大振幅値を用いた結果、表面処理により異なる形態を示し、破壊過程が異なることが示された。また、同程度の最大荷重が得られる打継ぎ部材でも、表面処理程度により異なる破壊過程となることが示された。
- (3) 一軸圧縮载荷によるせん断試験では、傾斜角によらず、遅延剤の洗出し深さが最大荷重に与え

る影響については、明確ではなかった。

- (4) 曲げ試験と同様、波形パラメータとして最大振幅値を用いた結果、傾斜角が 45° の場合は目標洗出し深さによらず一体型と似た振幅規模別頻度分布となったが、傾斜角が 60° では明らかに異なる分布形状となった。
- (5) 傾斜角が 60° においては、処理程度の差が振幅規模別頻度分布にみられ、遅延剤 2mm を用いた方が 4mm に比べ、せん断すべりの傾向が強いことが示された。

以上のように、AE 法を用いた評価によれば、曲げおよびせん断のいずれの実験においても、強度試験値ではほぼ同程度と判断された 2 つの異なるケースについても、その違いが確認された。今後は、打継ぎ部の破壊状況と AE パラメータの関係をより一層明確にすることによって、打継ぎ処理方法の良否を的確に把握する手法へと発展させることが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) Kurihara, N., Kunieda, M., Uchida, Y. and Rokugo, K. : Bond property of concrete joints and size effect, Proc of JSCE, No.613/V-42, pp.309-318, Feb.1999
- 2) 大津政康 : アコースティック・エミッションの特性と理論, 森北出版, 1988
- 3) 足立一郎, 迫田恵三 : 新旧コンクリート打継ぎ強度試験における AE 計測, 第 10 回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集, VII-4, pp.179-184, 1995.11
- 4) 宮野一也, 喜多達夫, 村上祐治, 京極孝子 : AE 計測による水中不分離性コンクリート打継ぎ特性の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.359-364, 1990
- 5) 鎌田敏郎, 岩波光保, 長瀧重義 : AE 法によるコンクリートのひび割れ種類の識別, 東京工業大学土木工学科研究報告, No.55, pp.1-12, 1997
- 6) 槇谷貴光, 香取慶一, 林静雄 : コンクリート打継ぎ面における表面粗さの評価とせん断力伝達能力に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.171-176, 1995