

論文

[1061] 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

正会員○宮野一也（間組技術研究所）

正会員 喜多達夫（間組技術研究所）

正会員 村上祐治（間組技術研究所）

京極孝子（間組技術研究所）

1. まえがき

水中不分離性コンクリートは、優れた材料分離抵抗性を有し、ブリージングが少ないため、従来の水中コンクリートに比べて打継ぎ強度は期待できる。そして、大型試験体を用いた実験¹⁾によれば、先行打込みしたコンクリート表面を入念に処理することにより、打継ぎ強度（直接引張強度）をさらに改善できることが検証された。しかし、打継ぎのある直接引張挙動は、直接引張による破断エネルギーが打継面に集中する瞬間に、そのときまでに蓄積された微細なひびわれ同士が連続的につながり急激に破断につながると予想されるため、破断過程における変形挙動を捉えにくく、打継ぎ特性を破断強度以外で評価することは難しかった。そこで、本研究では、内部破壊挙動を含めた、破断に至るまでの挙動を追跡するために、AE（アコースティック・エミッション）法を用いて、打継ぎ特性を評価することにした。実験は2シリーズとし、Aシリーズは、既に報告¹⁾している打継ぎ実験供試体から採取したコア供試体の材令91日における直接引張試験を実施するに当たり、ひずみを測定するとともに、AE法を併用し、水中不分離性コンクリートの打継ぎ破断挙動を検討した。

また、打継ぎ打設する前に表面処理を行うことは、水中作業という制約がある上、構造物の種類、工程、作業の煩雑さ等の理由によっては、確実な処理ができないばかりか、打継ぎ処理ができないことも考えられる。そこで、表面処理が行えない場合の代替策として、打継ぎコンクリートの前に水中不分離性モルタルを打込み、打継ぎ性能を高め、打継ぎ特性を向上させることをBシリーズとして検討した。Bシリーズでは、打継ぎ近傍の破断挙動を把握するための方法として、ひずみを測定するとともに、AE法を併用して破壊源位置評定を試みた。

2. コア供試体の直接引張打継ぎ部挙動（Aシリーズ：AEカウント計数）

2. 1 打継ぎ実験概要および試験体の製作

前報²⁾で報告した長距離流動実験による大型供試体を用いて、表面処理方法として①無処理、または②デッキブラシ処理、③ハイウォッシャー処理と変化させた処理を施した後に、打継ぎコンクリートを打設した。セメントは、低発熱型セメント（ポルトランドセメント、高炉スラグ、およびフライアッシュを混合した3成分系セメント、比重2.77）、細骨材は砕砂（比重2.64、吸水率1.88%）と山砂（比重2.57、吸水率2.14%）の混合、粗骨材は碎石（最大粒形20mm、比重2.64、吸水率0.98%）を使用した。混和剤は、AE減水剤（リグニンスルホン酸ナトリウム複合体）、

表-1 コンクリートの配合

最大骨材寸法	水セメント比	細骨材率	単 位 量 (kg/m ³)								
			水	セメント	細骨材		粗骨材	混 和 剤			
					細砂	粗砂		AE減水剤	高性能減水剤	水中不分離性混和剤	
Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	W	C	S1	S2	G	Cx 0.4%	Cx 2%	2.3	
20	69	40	221	320	160	494	988				

高性能減水剤（高縮合トリアジン系化合物）、水中不分離性混和剤（セルロース系）を用い、コンクリートの配合は表-1に示すとおりである。コンクリートは、スランプフロー 52.5 ± 2.5 cm、空気量 $4 \pm 1\%$ を満足したものを打設した。試験体は打継ぎ打設14日後にコア採取し、打継面が中央部になるように成形（ $\phi 15 \times 30$ cm）し、材令91日（打継ぎ後）に直接引張試験を実施した。

2. 2 A E計測および荷重方法

A E計測は、コンクリート内部破壊挙動を追跡する手段として、材料内部の滑り、剥がれ、破壊などの微小変化を動的に検出できる手法であり、セメントペースト、モルタル、コンクリートの圧縮、曲げ、割裂試験に適用し、微小ひびわれを検出する研究が活発に行われている³⁾⁴⁾。ただし、本実験のように直接引張試験に適用した報告は少ない。そこで、本実験では、図-1に示すように供試体の接着面を乾燥させた後、エポキシ系の接着剤を塗り治具を取付け、偏心がかからないように上下部にそれぞれリングを交わし、応力制御（ $1 \sim 1.5$ ton/min）により引張荷重する方法を用いて行った。なお、ひずみゲージは、打継ぎ部と一体部におけるそれぞれの挙動を測定するために、打継面をまたいだ60mmゲージを中心に上下に30mmずつずらして3枚ずつ供試体対面に2カ所貼付け、上部からゲージNo. 1, 2, 3と名付けた。また、打継面には、2mmのひずみゲージを4カ所貼付けた。

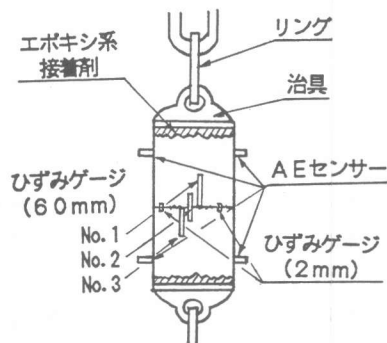


図-1 直接引張試験

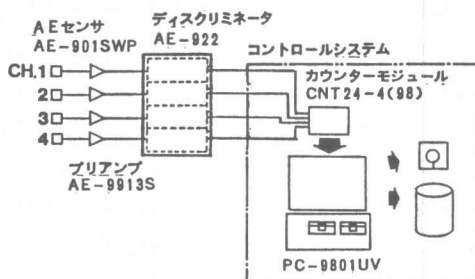


図-2 A E計測システム

A E計測システムを図-2に示す。A Eセンサーは共振周波数150kHzのものを用い、図-1に示す供試体側面4カ所の位置にグリースを用いて直接接着し、供試体中央部20cmの区間を対象にA Eカウントの計数を行った。A Eの検出処理はプリアンプ、メインアンプでそれぞれ40dBずつ増幅し、しきい値は1Vで行った。

2. 3 実験結果

(1) 打継面剝離

ひずみゲージ貼付け位置による引張応力と打継面近傍部変位量の関係を図-3に示す。打継面近傍部変位量は、直接引張応力下において生じたひずみにそれぞれのひずみゲージ長を乗じたものとした。この図から、表面処理を入念に行わない場合にはゲージ貼付け位置による変位量の差

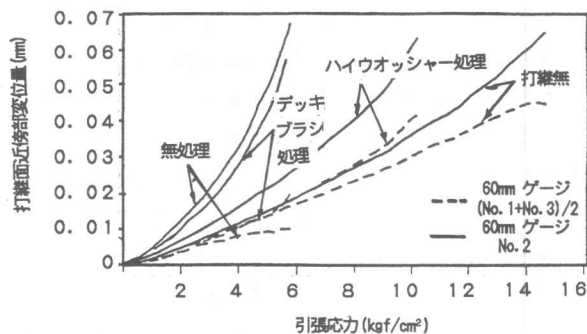


図-3 引張応力と打継面近傍部変位量の関係

が大きく、打継面近傍部の変位量が一体部に比べ、急増していることがわかる。また、打継面に貼付けた2mmゲージと60mmゲージNo. 2における引張応力と打継面近傍部変位量の関係を図-4に示す。無処理またはデッキブラシ処理で打継ぎを行った場合には、打継面での剝離に相当する2mmゲージによる測定結果が、60mmゲージNo. 2の変位量のほぼ半分の割合で増加している

のに対し、ハイウオッシャー処理の場合は打継面の変位量は、増加率が非常に小さくなっている。つまり、直接引張強度が小さい場合には、60mm区間内の変位のほぼ半分が打継面区間内の変位となっており、直接引張力に対し打継面で大きく変位・剝離していくことがわかる。しかし、ハイウオッシャー処理の場合には、

60mm区間内の5%程度の変位が2mm

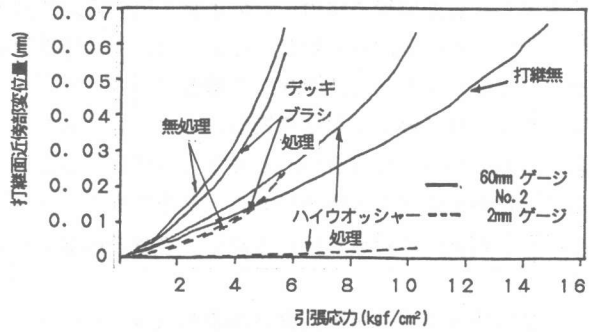


図-4 引張応力と打継面近傍部変位量の関係

(2) A E カウント計数

各表面処理ごとの引張応力比と累積 A E カウント数およびひずみの関係を図-5 に示す。無処理の場合は、A E はほとんど発生せず、デッキブラシ処理の場合も突発的に破断に至る直前にカウントされただけであった。しかし、ハイウオッシャー処理の場合には、かなり A E がカウントされ、他の処理に比べ応力比が 50% 程度から A E が徐々に増加していくことがわかる。そして、打継ぎがない場合には、A E がハイウオッシャー処理と同様な傾向で増加し、応力比 80% 程度で急激に A E が増加する傾向が見られた。また、初期応力時に A E が突発しているが、これは接着面および治具とリングのかみ合いにより発生していると考えられ、打継ぎのある場合の打継面でひずみが徐々に増加する点と同様な点であると思われる。

コンクリートの健全性を 1 軸圧縮試験により評価する場合、健全であるものは A E の発生が载荷初期では少なく、終局直前から頻発する傾向があると報告⁵⁾されているが、本実験では逆の結果が得られた。つまり、本実験のような直接引張試験では、打継面のない場合、A E 発生は初期载荷時から認められるのに対し、打継面のある場合、A E 発生は全体的に少なくなっている。そこで、A E 発生傾向を調べるために、各処理におけるひずみ (60mmゲージ No.2) 1 μ 当りの累積 A E カウント数を算出 (累積 A E カウント / ϵ) し、引張応力比との関係を求めた。この結果を図-6 に示す。ひずみ 1 μ 当りの累積 A E カウント数は、初期载荷レベルで直接引張強度が大きいほど A E が

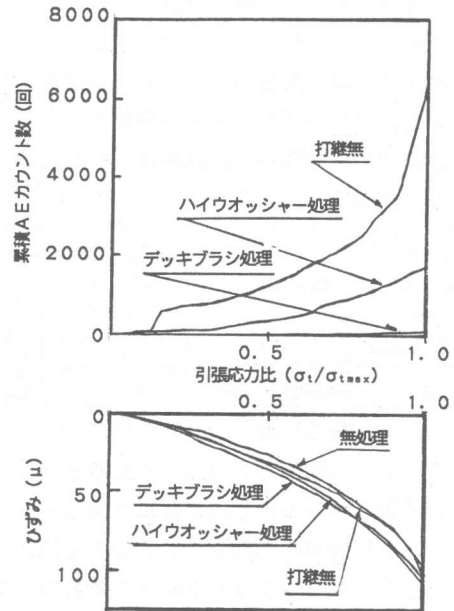


図-5 直接引張試験結果

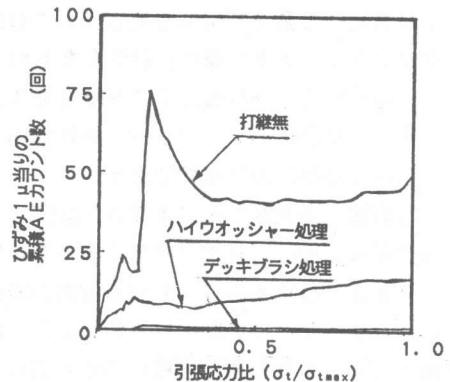


図-6 引張応力比と 1 μ 当りの累積 A E カウント数の関係

多く発生し、表面処理方法の違いにより、引張応力比30~90%の範囲で、ある範囲を持った一定値が存在する傾向がみられた。このことから、直接引張強度が小さい場合には、引張応力が打継面のみに集中し、打継ぎなしの挙動に近づくほど、引張応力に抵抗する領域が打継面近傍部に広がり、ひずみ1 μ 当りの累積AEカウント数が多くなると思われる。

以上の結果から、打継ぎのある場合の直接引張強度は、初期載荷レベルのAE発生率が大きいほど最終破断強度も大きくなることが予想され、打継面の処理を高度に行うほど、引張応力が集中する領域が打継ぎ近傍に広がり、打継ぎのない一部部での直接引張挙動に近づくと思われる。

3. 小型供試体の直接引張打継ぎ部挙動 (Bシリーズ: AE発生位置評定)

3. 1 使用材料および配合

水中不分離性コンクリートおよび水中不分離性モルタルに用いた使用材料、配合を表-2、3に示す。セメントは、打継ぎ実験に用いたものと同様である低発熱型セメントを用い、水中不分離性モルタルの水中不分離性混和剤量は、4.0 kg/m³とした。

表-2 使用材料

	種 類	備 考
セメント	低発熱型セメント	三成系セメント 比重:2.77
細骨材	川 砂	大井川産 比重:2.66 F.M.=3.03
粗骨材	採 石	秩父産 比重:2.70 F.M.=6.77
水	水道水	埼玉県と野市
混和剤	AE減水剤	リグニル系/ポリオール複合体
	高性能減水剤	高縮合/アゾノ系化合物
	特殊混和剤	セルロース系

表-3 コンクリートの配合

最大骨材寸法 Gmax (mm)	配合の種類	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
				水 W	セメント C		細骨材 S	粗骨材 G	混 和 剤		
					A E減水剤 (Ω /m ³)	高性能減水剤 (Ω /m ³)			水中不分離性混和剤		
20	水中不分離性コンクリート	68.8	40	220	320	649	1012	C \times 0.4%	C \times 2%	2.3	
5	水中不分離性モルタル	68	-	330	485	1213	-	C \times 0.4%	C \times 2%	4.0	

3. 2 供試体の作製

実験は、表面処理の有無、打込み方法(モルタルの有無)を実験要因とする4ケースについて、打継ぎがある小型供試体を作製し、Aシリーズと同様な直接引張試験により打継ぎ特性を調べた。試験体の作製は、まず型わく天端から20cmまで水を張った容器内に設置した ϕ 15 \times 15cmの型わくにコンクリートを水中で打設した。7日後に全ての供試体を取り出し、表面処理を行う供試体については、表面処理程度を明確にするためにワイヤブラシでスライム処理(2~3mm除去)を行った。そして、無処理の供試体と共に ϕ 15 \times 30cmの型わくに詰め直し、再び水を張った容器に設置して水中養生し、14日後に打継ぎ打込みを行った。打継ぎ方法は、先行打込みコンクリートと同様に打継ぎしたもの(以後ケースCと略称)と5cm程度水中不分離性モルタルを打継いだ後、1時間後にコンクリートを打継ぎした(以後ケースMと略称)の2種類である。

3. 3 直接引張試験方法およびAE計測

直接引張試験は、打継ぎ打設56~60日後に図-7に示すようにひずみとAE発生位置の関係を調べるためにひずみゲージを貼付けて実施した。供試体は、試験実施5~10日前に水槽から取り出し、1日乾燥後、エポキシ系接着剤で治具を供試体上下面に取り付けた。直接引張載荷速度は、1~1.5 ton/minとした。

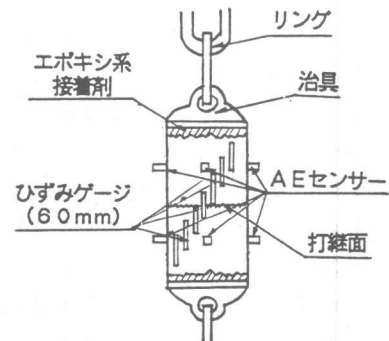
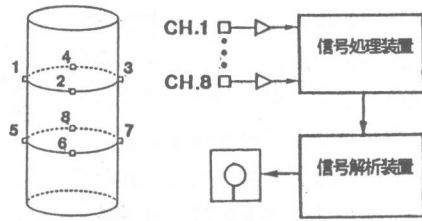


図-7 直接引張試験

A Eセンサーは、共振周波数200kHzのものを
用い、図-7に併せて示す位置でセンサー表面
にグリスを塗り接着し、ゴムバンドで設置し
た。A E計測システムは、図-8に示すとおり
であり、プリアンプで40dB増幅した後、A E信
号処理部でさらに60dB増幅しフィルタリング、
そして、しきい値の0.4Vを超えた信号のデー
タを出力し、A E信号解析部で高速解析した。ち
なみに、A E発生位置評定の誤差はセンサーよりも端面側に離れると垂直方向に最大 4.1cm生
じたが、センサー取付区間内では最大1cmであった。そこで、本実験では、センサー取付区間内
のみで位置評定することにした。



□ AEセンサー

図-8 A E計測システム

3. 4 実験結果

(1) 直接引張強度

直接引張強度と累積A Eカウント数の関係を図-9に
示す。直接引張試験の結果、無処理でコンクリート打継ぎ
(ケースC-無)の場合は、治具取付時および引張試
験リング設置時および載荷開始直後に破断した。しかし、
無処理でモルタル+コンクリート打継ぎ(ケースM-無)
の場合は、直接引張強度が得られた。破断面を観察する
と、(C-無)の場合は、破断後の供試体上部、下部と
ともに破断全面がすべてスライム状のものが見られるの
に対し、(M-無)の場合は、供試体によりスライム部も
認められたが、モルタル部が中央部に円形またはまだらの
ように観察された。この状況から、
本実験では強度特性の比較はできなかったが、モルタルを
打継ぎすることにより打継ぎ特性の改善に有効である
可能性がみられた。また、(ケースC-処)(ケースM-処)
の場合、直接引張強度の差は顕著ではなく、表面処理を
施せば、モルタルの有無による強度改善の影響は小さ
いと思われる。

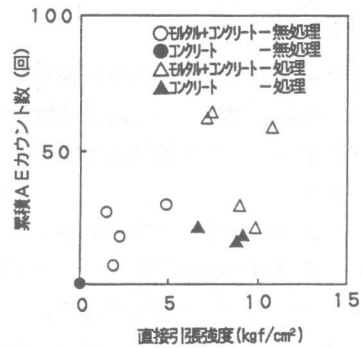


図-9 直接引張強度と累積
A Eカウント数の関係

(2) A E発生位置評定

A E発生位置評定された結果として、
(M-無)(C-処)(M-処)の一例を
図-10~12に示す。本実験では、
検出されたカウント数は少なく、
数多く検出された(M-処)の場合
でも応力比90%を超えてから検出
されたものであり破断過程を詳細
に検討することはできなかった。
ただし、本実験の評定結果から、
全ての場合において、初期の段
階から検出されるものは打継ぎ
面近傍であり、Aシリーズの結
果から考察されたように、打継
ぎのある場合は打継ぎ面に応力
が集中すること

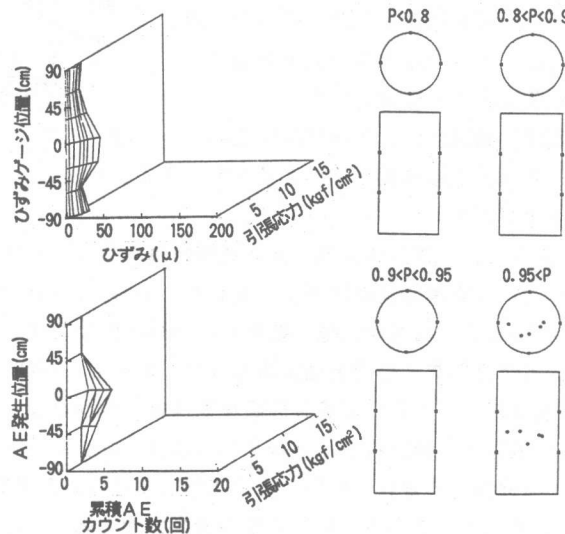


図-10 3次元A E発生位置評定(M-無)

が見受けられた。そして、各図に供試体各位置で測定したひずみとA E累積数の関係を示したが、ひずみの増加率とA E発生率には同様な関係があることが認められた。また、モルタルを打継ぎしたものは、破断直前に打継ぎ面でA Eがより多く評定されているが、これは、モルタル部が打継ぎコンクリートの接合材としてひびわれ剝離を生じつつも直接引張力に抵抗しているためと考えられる。

4. まとめ

①打継ぎがある場合の直接引張挙動として、表面処理により打継ぎ特性が改善されるほど、A E累積カウント数は増加する。

②打継ぎ表面処理を入念に行うことにより、直接引張強度が向上し、ひずみ1 μ 当りのA E発生が多くなる。このことから、引張力が打継ぎ面に集中するのではなく、打継ぎ面近傍部全体で引張力に対応してすることが推定される。

③表面無処理の場合、モルタルをコンクリート打継ぎの間に挟むことにより、打継ぎ特性が改善されるようである。ただし、表面処理が入念に行われた場合には、モルタルの有無による直接引張強度に与える影響は小さい。

④直接引張試験における打継ぎ破断面は、A E破壊源位置評定により推定できる。

<引用文献>

- (1)宮野一也、喜多達夫他：低発熱型特殊水中コンクリートの打継ぎ強度特性について、土木学会年次学術講演会講演概要集 第44回、1989、pp264-265
- (2)喜多達夫、福留和人他：低発熱型特殊水中コンクリートの長距離流動実験結果報告(その1) 土木学会年次学術講演会講演概要集 第44回、1989、pp258-259
- (3)魚本健人、A Eによる非破壊検査技術、コンクリート工学、Vol. 24、No. 3、1986、pp56-58
- (4)小玉克己、仲宗根茂：モルタルおよびコンクリートのA E特性、日本非破壊検査協会、006特別研究委員会資料、No87、土木工学におけるA E研究発表会、1988、pp1-6
- (5)大津正康、清水英治他、A Eの発生特性に基づいたコア試験による劣化度推定、土木学会年次学術講演会講演概要集 第41回、1986、pp117-118

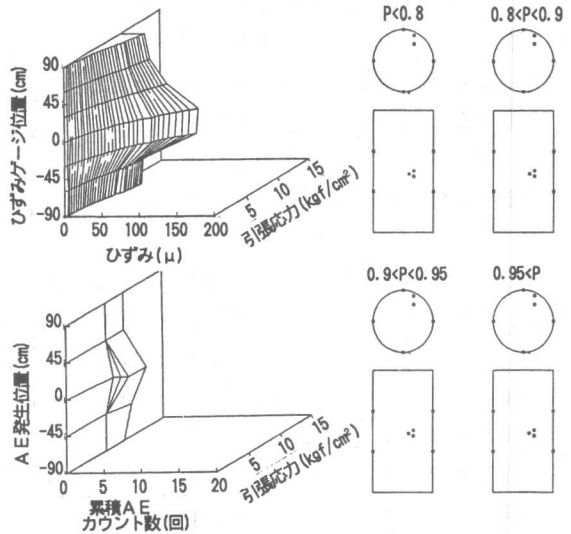


図-1 1 3次元A E発生位置評定(C一処)

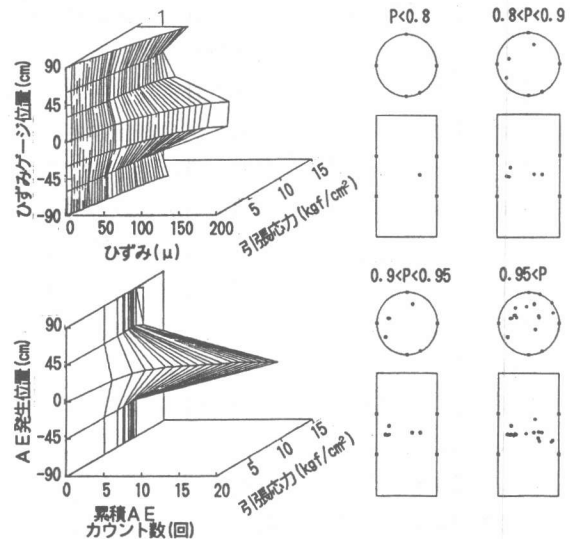


図-1 2 3次元A E発生位置評定(M一処)