

[1067] イメージコンバータカメラによるコンクリート系部材のひびわれ伝播観測システムに関する基礎研究

正会員	中野清司	(東京電機大学 工学部)
正会員	立花正彦	(東京電機大学 工学部)
正会員	○ 矢嶋俊之	(東京電機大学 大学院)
正会員	伊勢賢郎	(西松建設(株)技術研究部)

1. はじめに

コンクリートは、建築構造物を造るとき施工性、経済性の面で現在広く使われてきている建築材料の一つであり、多くの特性を持ったものの複合組織構造である。そのため養生等の環境条件、加力方法の変化にともない力学的特性や強度特性が複雑に変化するため、それらを把握することは容易ではない。

そこで本研究では、まず最も基本的となるコンクリートのひび割れ発生及びその進展状況に着目し、そのメカニズムを解明する基礎を築くため、以下に示す情報を踏まえて巨視的現象を予測し得る方法を見いだすべく、①ひび割れ伝播速度 ②ひび割れ進展長さ状況 ③ひび割れ幅の成長状況 ④載荷開始とひび割れ発生との時間差 ⑤ひび割れ発生によるアコースティックエミッション波形の性質 ⑥ひび割れ発生による電圧変化の状況などを把握しようとするものである。

この研究では、これらコンクリートのひび割れ及び破断の進行状況を可視的に観測することを第一として考えて、研究装置システムを開発することから着手した。可視的に観測することの出来る装置としては超高速撮影(数10 μ SEC.~数100 μ SEC.)が可能なイメージコンバータカメラを中心とした装置を開発した。さらに、飛来物などを始めとする衝撃作用や爆発などの衝撃的外力が作用したときのひび割れ状況に着目し、その基礎的研究としてモルタルを使用した衝撃曲げ実験にこの研究測定装置を用い、上記の項目①~④について検討したものである。

2. 測定装置システムの概要

ひび割れ伝播観測装置のブロックダイアグラムは図1に示す。本システムは大きく4ブロックから成り立っている。ブロックAは加力装置であり試験体に圧縮力、引張力又は衝撃力などを作用させ、試験体に曲げひび割れ及びせん断ひび割れを発生させる部分である。

ブロックBは本システムのメインであるイメージコンバータカメラを作動させるためのものであり、このカメラが超高速撮影(数10 μ sec~数100 μ Sec)が可能で、ひび割れ発生過程を可視的に観測する。このブロックは図1に示す様にONE SHOT MULTI(波形整形回路)、DELAY GENERATOR(遅延回路)及びMICRO-FLASH CONTROL UNIT(マイクロフラッシュ制御回路)からなる。ひび割れ発生タイミング信号よりフラッシュが作動しその後 1×10^{-4} sec遅れてイメージコンバータカメラを作動させ、コンクリートのひび割れ伝播成長過程をポライド又はハイスピードネガフィルムに撮影する。このイメージコンバータカメラから得られた観測結果のひび割れ挙動をデータ処理するためにCCDカメラに転送してその後、画像処理する。なお、この時試験体の破壊状況とシャッタータイミング状態を判断するためシャッタータイミングをイメージコンバータカメラのモニター端子から出力し、デジタルストレージスコープに伝達記録する。次にブロックCはひび割れ発生による試験体内部の電圧特性を把握することができ、デジタルストレージスコープを通してパソコンにデータとして収納する。

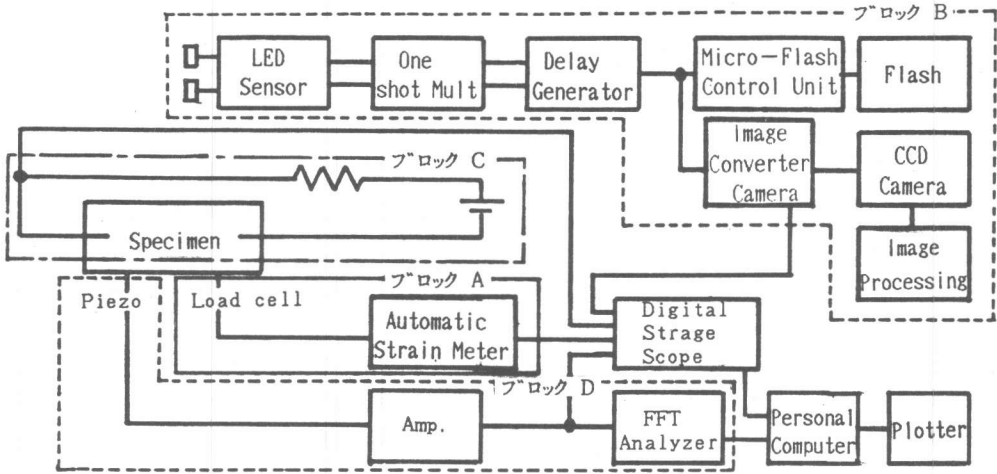


図1 測定装置システム

ブロックDは、ひび割れ発生によるアコースティックエミッション波形の観測や、重錘が試験体に衝撃力を与えた载荷の瞬間タイミングを測定するためなどを目的とする部分で、電圧加速度センサーを用いる。さらに、この波形データをFFTアナライザーにて解析することができる。

表1(a) 実験計画(Aシリーズ)

W/C W'	40%	50%	65%	
390g	SA140S0-1	SA140L0-1	SA150L0-1	SA165S0-1
300g	SA340S0-1	SA340L0-1	SA350L0-1	SA365S0-1

3. 衝撃曲げ試験

3-1 実験計画及び試験体

実験計画は表1に示す通り2シリーズよりなる。Aシリーズはひび割れ進展長さを観測するものであり、Bシリーズはひび割れ幅の進展状況を観測するものである。

実験変数はAシリーズではモルタル強度(8水準)、水セメント比(3水準)、衝撃荷重(2水準)であり、Bシリーズでは、モルタル強度(11水準)、主筋比(2水準)である。

試験体は寸法40×40×160mm (JIS-R-5201)であり、撮影向上を目的とし図2に示すように予想破断部の幅18mmを白く着色した後、その周辺部に炭素を付着させた。さらに、予想破断部のみを長さ方向に10mm間隔で基準ラインを印した。また、Bシリーズに使用される引張補主筋の試験体は図3に示す。主筋は引張側に配置し、そのかぶり厚さは5mmである。主筋は径2φのなまし鉄線で全長140mm端部に定着のために180度フックを取り付けた。なお、この主筋には絶縁のためチューブで被

表1(b) 実験計画(Bシリーズ)

W/C Pt(%)	40%	50%	65%
0.0	SB140L0-1 SB140L0-2 SB140S0-1	SB150L0-1	SB165L0-1 SB165L0-2 SB165L0-3 SB165S0-1
0.2	SB140L2-1	SB150L2-1	SB165L2-1



覆した(図3参照)。

モルタルの配合はセメント:砂=1:2であり、セメントは早強ポルトランドセメント、砂は豊浦標準砂である。

3-2 実験方法と測定項目

本装置は 図4に示すように、内径30mmの円筒管内を重錘(300g, 390gの2種類)が自由落下して試験体に衝撃荷重を与えることによりひび割れ伝播発生させる

方法である。重錘は、試験体に安定した衝撃荷重を作用させるためマグネットベースにより重錘を衝撃荷重点から60cm上方に保持し、マグネットベースの磁力が解放されたとき重錘が落下する。円筒管下通過した後重錘頭部分が球接点から鋼棒を介して試験体に衝撃力を載荷する(前項2.ブロックAに対応)。

破壊時検出センサーは発光ダイオードセンサーを使用し、このセンサーを落下治具軌道の中空円筒管内部の衝撃点から上方20mmの位置に設置した。このセンサーによりイメージコンバータカメラを作動させ、ひび割れ進展を撮影する。なお、イメージコンバータカメラのシャッタースピードはAシリーズで 1×10^{-5} 秒、Bシリーズで 1×10^{-4} 秒である(前項2.ブロックBに対応)。

ひび割れ発生による試験体の電圧特性を把握する目的で、試験体の予想は断面をはさんで2本のリード線(電位)を埋設する(前項2.ブロックCに対応)。

衝撃時の载荷タイミングを把握する目的で使用するために、試験体の予想破断面より15mm離れた部分に電圧加速度センサーを取り付けた(前項2.ブロックDに対応)。

3-3 実験結果

得られた実験結果の代表例(試験体名SB140L0-2)を写真1, 図5~7に示す。以下に各図の説明を記す。

写真1はイメージコンバータカメラによる撮影結果であり、写真上下両脇の数字順にフィルム下上、下上と右側に駒送り撮影している。このシャッタースピードは 1.0×10^{-4} 秒である。

図5は撮影タイミングを示すもので、デジタルストレージスコープにて測定したものである。同図の横軸は測定時間を表し、縦軸はイメージコンバータカメラの電圧出力を表す。この波形は、全体的に櫛を上方に向けたような形になっている。この一本の櫛の歯で二回シャッターを切っている。即ち、波形の立ち上がりでシャッターをオンし、立ち下がったところでまたまたシャッターをオンしている。なおこの波形では18駒(波形で9つの山)をイメージコンバータ

表2 モルタルの機械的性質

試験体名	F _c (kgf/cm ²)
SA140S0-1	580
SA150L0-1	678
SA165S0-1	440
SA340S0-1	600
SA350L0-1	842
SA365S0-1	446
SB140L0-1	782
SB140L0-2	670
SB140S2-1	198
SB140L2-1	814
SB150L0-1	370
SB150L2-1	355
SB165L0-1	566
SB165L0-2	670
SB165L0-3	628
SB165S2-1	371
SB165L2-2	485

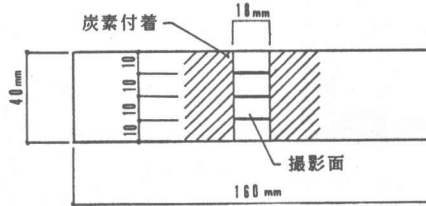


図2 試験体測定面状態

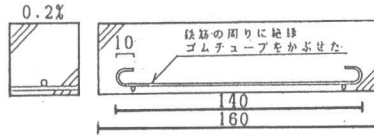


図3 試験体形状及び寸法

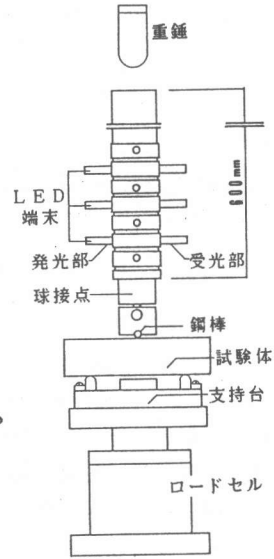


図4 実験方法

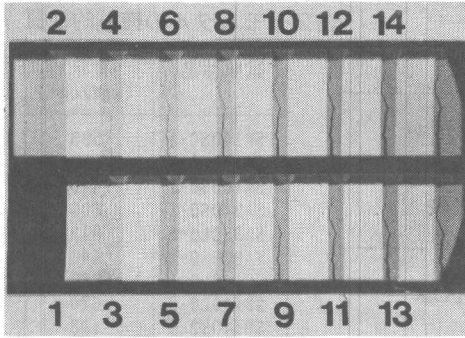


写真1 撮影結果

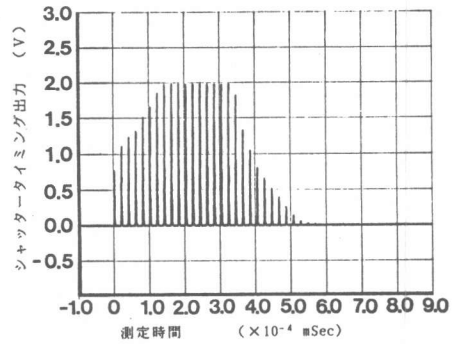


図5 撮影タイミング

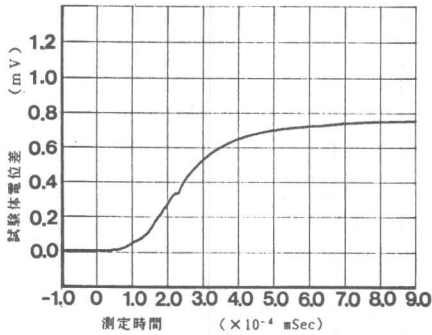


図6 モルタルの電圧変化

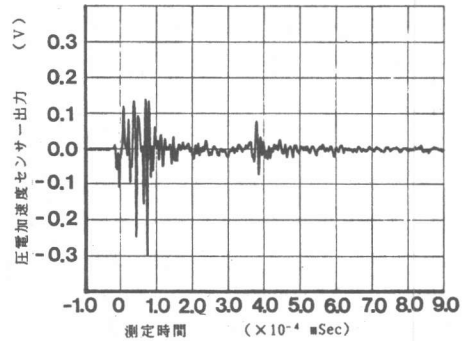


図7 圧電加速度センサー波形

ータカメラで撮影している。また電圧出力差は撮影結果とは関係がなくイメージコンバータカメラのモニター出力特性による。

図6はモルタルの電圧変化を表す。横軸は測定時間を表し、縦軸は試験体の電圧変化を表す。この波形左側のフラットな部分が載荷前の試験体電圧であり、同図右側のフラットな波形の部分が試験体破断後の状態を表す。この波形の左側から右側へ移動する電圧の勾配がモルタルのひび割れ伝播の成長状況を表す。

図7は圧電加速度センサー波形を表す。横軸は測定時間を表し、縦軸はセンサー電圧出力を表す。この図のセンサー波形の立ち上がりが載荷開始点を表す。

4. 結果の考察

4-1 ひび割れ長さの伝播状況

ひび割れ長さの伝播状況の代表例を図8に示す。この図の縦軸は写真1に示す撮影結果より、ひび割れ長さ(h)を図8中に示す方法により測定した値を示し、横軸は撮影間隔の時間(T)を示す。

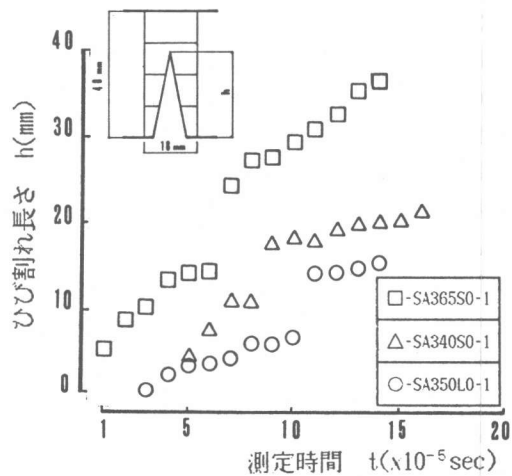


図8 ひび割れ長さの伝播状況

なお、縦軸のひび割れ測定精度は0.1mmである。

この図8のひび割れ長さの伝播状況より、ひび割れ長さの伝播は、図9に示す様に載荷からひび割れ発生する直後の点A(t_0 、 l_0)とその後のひび割れ長さの進展スピード(v)によって近似できるものと考えられる。この伝播スピード v は最小二乗法にて求めた。以下にA点の t_0 と l_0 及び v と実験変数との関係について検討する。

A点における l_0 。

及び t_0 とモルタル圧縮強度(F_c)との関係を図10(a)及び(b)に示す。

図10(a)より、 l_0 は水セメント比、養生期間に関係なく、 F_c が高くなるほど短くなる傾向を示し、また、この l_0 は同じ F_c の場合重錘重量が重い程長くなる傾向を示す。

図10(b)より、 t_0 は l_0 と同様、水セメント比、養生期間に関係なく、 F_c が高くなれば遅くなる傾向を示し、また、この t_0 はおなじ F_c の場合は重錘重量が重い方が早くなる傾向を示す。

ひび割れ発生後の長さの伝播スピード v と F_c との関係を図11に示す。この図より v は重錘重量が300gの時には、圧縮強度、養生期間に関係なく水セメント比が高くなる程遅くなる傾向を示すが、重錘重量390gでは水セメント比にかかわらず、 $v_0=0.4\sim 0.5\times 10^7$ m/secである。

4-2 ひび割れ幅の拡がり状況

ひび割れ幅の拡がり状況の代表例を図12に示す。この図の縦軸のひび割れ幅(d)は同図に示すようにひび割れ発生点より10mmの部分測定した値を示し、横軸は測定時間を示す。 d の測定精度は0.01mmである。この図12よりひび割れの広がり状況はトリリニャーにより近似することができ、第一の折点はひび割れ発生点C(t_0)であり、第二の折点はひび割れ幅が一定となるB点(T_0, w_0)で近似できるものとする。B点の T_0 及び w_0 と圧縮強度 F_c との関係を図13(a)及び(b)に示す。

図12よりひび割れ発生時点(C)は衝撃載荷開始より $t_0=5.5\times 10^{-5}$ 秒後に生じており、モルタル強度、水セメント比、主筋の有無にかかわらず同じである。ひび割れ幅の拡がり状況は無筋の場合

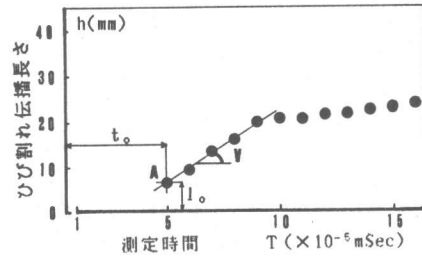


図9 ひび割れ発生状況のモデル化

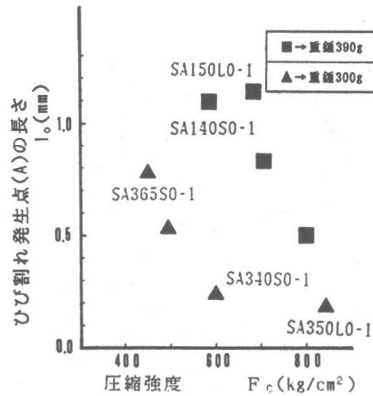


図10(a) l_0 と圧縮強度 F_c

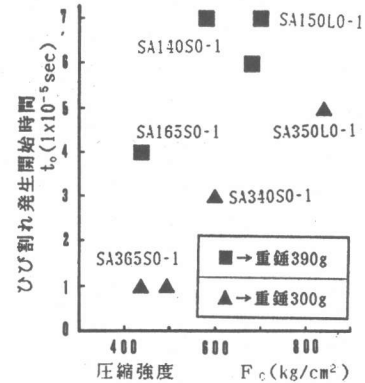


図10(b) t_0 と圧縮強度 F_c

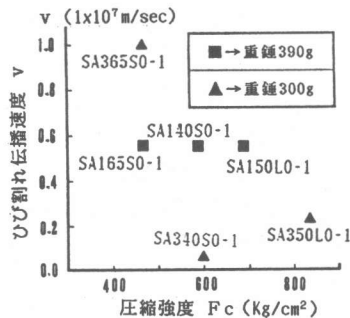


図11 伝播スピード v と圧縮強度 F_c

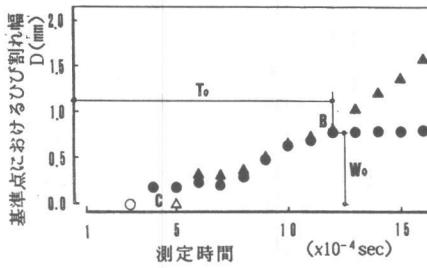


図12 ひび割れ伝播幅の代表例

合、強度にかかわらずほぼ同じ傾向を示す。

図13(a)及び(b)より、ひび割れ幅が一定となる時点はモルタル強度が高くなる程時間 t_0 が遅くなり、また、ひび割れ幅 d も大きくなる傾向を示す。

5. まとめ

コンクリートのひび割れ発生から破壊に至るまでの挙動を可視的に観測できる測定装置の開発を行い、この装置を用いて飛来物などをはじめとする衝撃作用や爆発などの衝撃的外力が作用したときのコンクリートのひび割れ状況に着目し、その基礎的な研究としてモルタルを用いた衝撃曲げ実験により曲げひび割れ長さの進展状況及びひび割れ幅の広がり状況を可視的に観測することができ、この結果より、衝撃よりひびが発生するまでの時間、ひび割れ長さの伝播スピード、ひび割れ幅などの性状に及ぼす影響因子について定性的な傾向を把握することができた。

【参考文献】

- 1)五十鈴川：イメージコンバータカメラによる水中爆発現象 昭和63年電気学会全国大会
- 2)大内田他：イメージコンバータカメラによる放電過程の観測 昭和63年電気学会全国大会
- 3)寺村：繊維複合した軽量気泡コンクリートの破壊靱性A Eスペクトラム解析 日本建築学会構造系論文報告書 第381号 昭和62年11月
- 4)和泉他：コンクリートの破壊に関する研究の新しい動向 セメントコンクリート N0432,1 982
- 5)山口他：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の実験的研究 構造工学論文集 (1987年 3月)
- 6)藤田他：コンクリートのひび割れ性状について セメント技術年報31
- 7)竹田他：高速荷重を受けるコンクリート中のクラックの拡大 セメント技術年報33

[謝辞] 本研究は、東京電機大学総合研究所の研究費(昭和61及び62年度)をもとに本学工学部電子工学科金田研究室及び西松建設㈱との共同研究として行ったものである。本研究を遂行するに当たり、電子工学科教授金田輝男博士及び成蹊大学工学部電子工学科高橋勉氏に御指導を得ました。また実験及びその資料整理に当たり卒研究生深沢尚弘、三宅健一及び村田哲也諸君の協力を得ました。これら関係各位に謝意を表します。

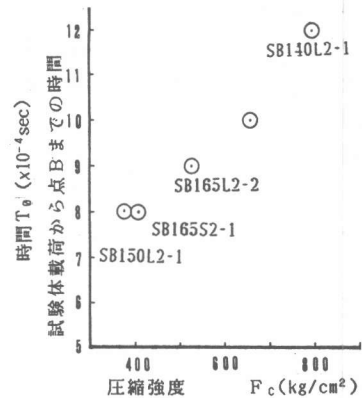


図13(a) T_0 と圧縮強度 F_c

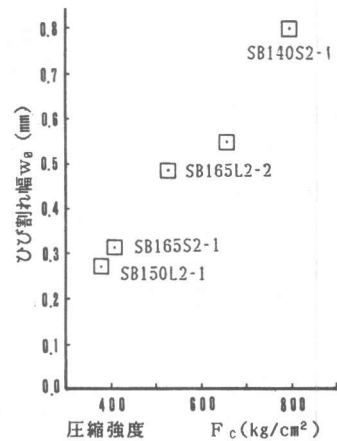


図13(b) w_0 と圧縮強度