

# フライアッシュIV種混入コンクリートを用いた RCスラブの沈下ひび割れ特性に関する検討

渡辺 健<sup>1</sup>・橋本親典<sup>2</sup>・水口裕之<sup>3</sup>・上田隆雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 徳島大学助手 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

watanabe@ce.tokushima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

<sup>3</sup>フェローメンバー 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

<sup>4</sup>正会員 博(工) 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

フレッシュコンクリートの初期欠陥の1つとして、鉄筋コンクリートの沈下ひび割れが挙げられる。沈下ひび割れは、タンピングにより修復可能であるが、打込み部位によっては、必ずしもタンピングが実施されていないのが現状である。特に、打込み時期が夏期や冬期では作業環境が厳しいため、実施が困難な場合がある。本研究では、夏期、秋期および冬期での打込み時期、かぶり、セメントの種類ならびに海砂代替としてフライアッシュIV種混入の有無が、RCスラブのコンクリート表面に発生する沈下ひび割れの幅や深さ等のひび割れ特性に及ぼす影響について検討した。その結果、フライアッシュIV種を細骨材容積の10%置換することにより、打込み直後のコンクリートの伸び能力が改善されることが明らかになった。

**Key Words :** settlement crack, fly ash concrete, crack width, crack depth, fly ash of Type IV

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐久性が社会的な問題となっており、コンクリートに発生するひび割れは耐久性に悪影響を及ぼす要因の1つである。特にフレッシュコンクリートでは、打込み後ブリーディングが生じるとともに沈下を起こし、内部に固定された水平鉄筋が配置されている場合には、沈下するコンクリートの局部的な妨げになり、鉄筋に沿って上部コンクリートに沈下ひび割れが発生することが多い。沈下ひび割れに関してはその発生要因について研究が行われておらず<sup>1)-4)</sup>、タンピング作業を行うことにより消去することが可能である<sup>3),4)</sup>。しかし、その作業はコンクリート打込み数時間後に行われるため、実際に施工現場ではタンピングが行われていない可能性が指摘されている。

また、近年の海砂使用抑制および禁止という時世

において、それに代わる新たなコンクリート用骨材の開発が望まれている。

本研究では、海砂代替物としてフライアッシュIV種を用いたRCコンクリートの打込み直後の伸び能力の評価のために、スラブ供試体のコンクリート表面に発生する沈下ひび割れに着目し、普通コンクリートとフライアッシュIV種混入コンクリートとの沈下ひび割れの発生状況の差異について実験的に検討した。スラブ供試体のコンクリート上面での51箇所の計測点に発生する沈下ひび割れ幅と深さに関して統計的評価を行った。

なお、通常、フライアッシュはセメントの内割り置換で混入する混和材料である。しかしながら、本実験では、初期強度の観点から単位セメント量を確保するために、セメントの混和材料ではなく、単位セメント量を一定として細骨材の微粒分（海砂）の代替物として用いた<sup>5)</sup>。

## 2. RCスラブ供試体を用いた沈下ひび割れに関する実験方法

### (1) RCスラブ供試体

沈下ひび割れを発生させるための鉄筋コンクリート部材に関しては、杉山らの研究<sup>4)</sup>を参考にした。すなわち、軸方向鉄筋としてD22異形鉄筋を使用し、対象とする鉄筋コンクリート部材をスラブ部材とし、軸方向鉄筋直上に沈下ひび割れを発生させた。

本研究で用いたRCスラブ供試体の寸法形状を図-1に示す。900×600×200mmのスラブ型枠内に、鉄筋中心間隔150mmで両端を合板に固定したD22異形鉄筋を3本設置する。写真-1は、コンクリート充てん前の異形鉄筋を配置したRCスラブ供試体を示す。本研究では、コンクリートの種類、かぶりおよび打込み時期等が異なる1つの実験条件に対して、RCスラブ供試体は1体とした。沈下ひび割れの発生は不規則であり、ひび割れ幅や深さは非常にばらつきがある。このばらつきをできるだけ小さくする

必要がある。そこで、本実験では、RCスラブ供試体に3本の鉄筋を配置し、この鉄筋の直上に発生する沈下ひび割れを、後述するように、ひび割れの発生状況や発生時間に関係なく、材齢1日で固定した51箇所の位置で計測し、統計的にひび割れ幅と深さで評価することとした。

### (2) かぶりの選定およびタンピングの有無

本研究では、環境条件として一般的な環境条件を想定し、最小かぶりは鉄筋直径以上でかつ土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕の最小かぶり  $C_{lim}$ <sup>6)</sup>を満足する値として、25mmとした。これを基準かぶりとし、 $C_{lim} \pm 10\text{mm}$ とした15mmと35mmの計3種類とした。

また、沈下ひび割れ発生後のタンピングによる効果を観察するために、かぶり15mmと25mmについては、ブリーディング終了後、発生した沈下ひび割れを修復するためのタンピングを行うものと行わないもの2種類を作製した。かぶり35mmは、沈下ひび割れの発生が少ないと考え、タンピングを行わないもののみとした。

### (3) 実験の構成

本研究の実験は、2つのシリーズから構成される。第1シリーズは、厳しい打込み時期での現場施工を想定し、夏期と冬期の打込み時期における沈下ひび割れ特性の違いに着目した実験である。第2シリーズは、フライアッシュ置換率とセメントの種類が沈下ひび割れ特性に与える影響について検討するものである。

第1シリーズでは、打込み時期以外の実験パラメータはすべて同一とした。一方、第2シリーズでは、打込み時期の影響が最も穏やかである秋期において実施した。各実験シリーズで変更した実験要因について表-1に一覧にして示す。FA置換率については、本論文で後述する。

表-1 各実験シリーズで変更した要因の一覧

シリーズ	打込み時期	セメント種類	FA置換率(%)	タンピング有無
第1シリーズ	夏期 冬期	高炉セメントB種	0, 10	有・無とも実施
第2シリーズ	秋期	普通P.L.セメントと高炉セメントB種	0, 10, 20	無のみ実施

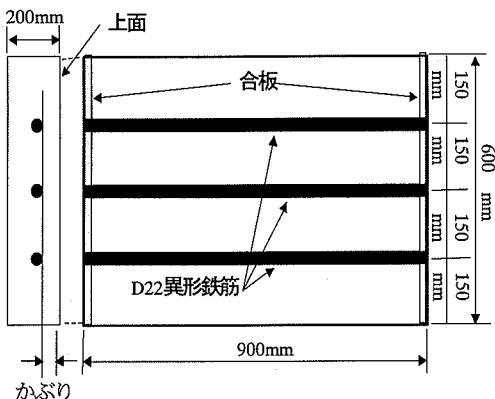


図-1 RCスラブ供試体の寸法形状図

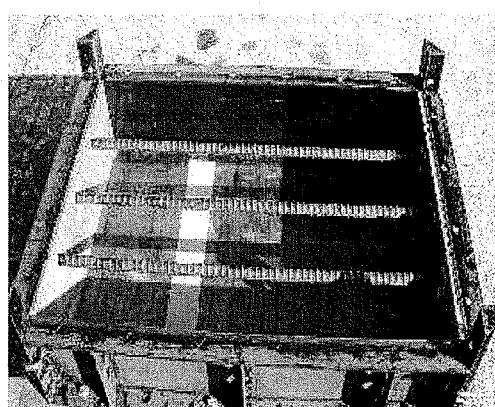


写真-1 RCスラブ供試体の型枠の概観

### 3. 沈下ひび割れ特性の評価方法

#### (1) ひび割れ特性の評価について

本論文では、沈下ひび割れの特性として鉄筋直上に不連続かつ不均一に発生する沈下ひび割れの幅と深さを平均的に取り扱うこととした。沈下ひび割れの発生機構の複雑さをより単純化した方が、ひび割れの特性を明確にできると考えたためである。そのため、沈下ひび割れの発生位置や発生時間については注目していない。

#### (2) 平均ひび割れ幅の求め方

通常、鉄筋直上に発生する沈下ひび割れは、凝結が終了しブリーディングの発生がほぼ終了する頃に目視で確認できる程度のひび割れ幅まで成長する。よって、凝結始発時期から微視的なひび割れは既に発生している。しかしながら、経過時間に伴う微視的な沈下ひび割れ幅を追跡し計測することは非常に困難である。一方、材齢1日で計測した沈下ひび割れ幅は、それ以後大きな拡大や進展はしない。したがって、本実験では、材齢1日の供試体表面に発生した沈下ひび割れを目視によって発生の有無を確認し、発生した供試体についてはクラックスケールを用いて沈下ひび割れの幅を測定する。沈下ひび割れを一定の条件で計測し定量的に評価するために、埋め込まれた鉄筋上のスラブ供試体表面に図-2に示すA、BおよびCの3つのエリアを設け、50mm間隔で鉄筋に垂直な直線と沈下ひび割れが交差する点におけるひび割れ幅を計測することとした。ひび割れ幅は、クラックスケールを用いて、ひび割れなし、ヘアクラック、0.05mm、0.1mm、0.2mm、0.3mmおよび0.5mmの7段階に分類した。なお、ヘアクラックに関しては、ひび割れ幅を目視によって数値化することが困難であるため、一様に0.01mmと数値化した。また、その周辺にひび割れが発生していても50mm間隔の垂線上に沈下ひび割れが発生していない場合、ひび割れなしと判定し0.0mmというひび割れ幅で数値化した。今回の実験では、スラブ供試体1体につき、17@3=51点の計測点を設けており、各ひび割れ幅の度数分布から平均ひび割れ幅を次式により求めた。

$$W_a = \frac{\sum_{i=1}^7 W_i \times n_i}{\sum_{i=1}^7 n_i} \quad (1)$$

ここに、 $W_a$ =平均ひび割れ幅(mm),  $n_i=W_i$ のひび割れ数,  $W_1=0.0(\text{mm})$ ,  $W_2=0.01(\text{mm})$ ,  $W_3=0.05(\text{mm})$ ,  $W_4=0.1(\text{mm})$ ,  $W_5=0.2(\text{mm})$ ,  $W_6=0.3(\text{mm})$ ,  $W_7=0.5(\text{mm})$ である。

クラックスケールを用いた沈下ひび割れ幅の計測状況を写真-2に示す。なお、冬期打込みにおけるスラブ供試体上面の沈下ひび割れ発生状況については参考文献<sup>7),8)</sup>に記述している。

#### (3) ひび割れ深さの求め方

本実験では、沈下ひび割れの深さを計測するために超音波法を用いた。超音波法とは、使用周波数が20kHz以上の超音波域と呼ばれる周波数帯域を主に使用し、発振子から発射された弾性波を受振子で測定することによりひび割れ深さや内部欠陥を計測する手法である。本実験では、受振波の位相変化によりひび割れ深さを測定する機能を有した超音波試験装置を使用することによりひび割れ深さを推定した。位相差を利用したひび割れ深さ測定の概略を図-3

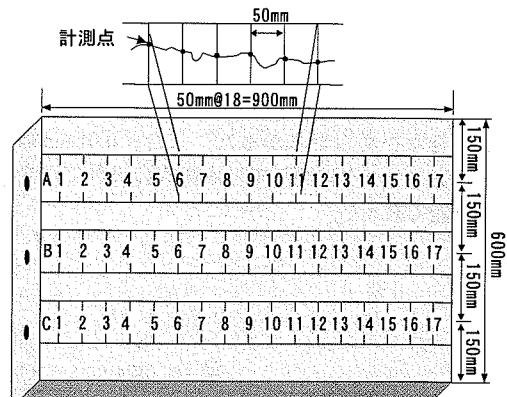


図-2 スラブ供試体上に設けた計測点箇所

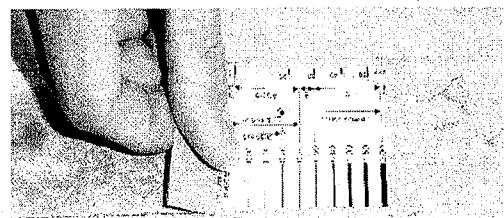


写真-2 クラックスケールによる沈下ひび割れ幅の計測状況

#### 4. 打込み時期が沈下ひび割れに与える影響 に関する実験（第1シリーズ）

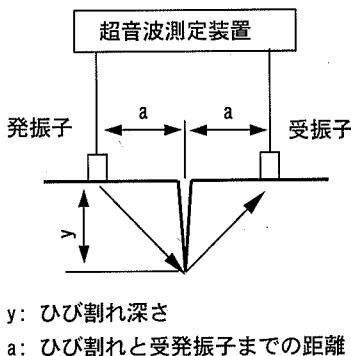


図-3 超音波法によるひび割れ深さ計測の概要

に示す。位相差を利用した方法は<sup>9)</sup>、発振子から入力された弾性波がひび割れの先端で回折し受振子にて計測されるが、その弾性波の位相が図-3に示すひび割れ深さ $y$ とひび割れからの受発振子の距離 $a$ が $y=a$ となる場合において反転することを利用した方法である。本研究では、計測点において受発振子間隔を変えてこれを求ることによりひび割れ深さを推定した。ひび割れ幅0.1mm以上の沈下ひび割れの深さは、センサの反応が良かったが、0.05mmでは計測できない場合が多くあった。また、0.01mm幅としたヘアクラックに関しては本研究の実験では全く計測不能であった。

#### (1) 使用材料および配合

第1シリーズで用いた普通コンクリートとフライアッシュIV種混入コンクリートの配合を表-2に示す。フライアッシュIV種混入コンクリートは、海砂の代替使用を目的とし海砂を用いていない。細骨材の絶対容積の10%をフライアッシュで置換した。表中のs/aのsは、細骨材とフライアッシュの全容積を意味し、FA置換率はフライアッシュと細骨材の全容積に対するフライアッシュの容積の比を意味する。セメントは高炉セメントB種（密度3.04g/cm<sup>3</sup>）を使用した。細骨材は阿南市下大野町産川砂（表乾密度2.62g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.30%、粗粒率2.80、表-2中の細骨材（川砂））と愛媛県越智郡伯方町産海砂（表乾密度2.57g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.94%、粗粒率1.90、表-2中の細骨材（海砂））を混合して使用し、粗骨材は阿南市下大野町産川砂利（表乾密度2.63g/cm<sup>3</sup>、吸水率0.90%、実積率62.0%）を使用した。フライアッシュIV種（密度2.20g/cm<sup>3</sup>、比表面積1910cm<sup>2</sup>/g）は、四国電力の石炭火力発電所産のフライアッシュI種を分級した際に副産されるものである。混和剤は、リグニンスルホン酸系のAE減水剤及びAE助剤を用いた。ただし、AE助剤は普通・FAIV種の両者ともに202A（P社製）とした。

#### (2) コンクリートの打込み状況

実験は、8月上旬の夏期と12月中旬の冬期に実施

表-2 第1シリーズに用いたコンクリートの示方配合

配合名	粗骨材 の最大 寸法	目標 スランプ (cm)	目標 空気 量(%)	W/C (%)	s/a (%)	FA置 換率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
							W	C	FA	S		G	混(×C%)	
										川砂	海砂		①	②
普通	25mm	8± 2.5	4.5± 1.5	53.0	42.0	0.0	148	280	—	550	231	1091	0.25	0.001
					43.0	10.0	146	276	68	728	—	1076	0.25	0.001

混①：AE減水剤、混②：AE助剤

表-3 第1シリーズのコンクリートのフレッシュおよび硬化性状

打込み 時期	打込み日	外気温 度 (°C)	コンクリ ートの種 類	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	練上り 温度 (°C)	最終ブリー ディング量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	材齢28日 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
冬期	2001/12/05	9.0	普通	8.5	4.6	14.5	0.087	25.5
	2001/12/14	7.0	FAIV種	10.5	6.0	11.0	0.088	22.8
夏期	2002/07/31	30.0	普通	9.5	4.9	30.0	0.087	23.0
	2002/08/01	30.0	FAIV種	8.5	4.7	32.0	0.093	27.4

した。夏期および冬期ともに同一材料を用いてレディーミクストコンクリート工場でコンクリートを製造した。実験に用いたコンクリートのフレッシュ性状を表-3に示す。普通コンクリートおよびフライアッシュIV種混入コンクリートともに目標スランプおよび目標空気量の範囲を満足する結果であった。夏期のコンクリートは、練上り温度が25°C以上であり、暑中コンクリートである。最終ブリーディング量は冬期と夏期でほとんど大差がない。コンクリートの打込みや養生はすべてレディーミクストコンクリート工場の敷地内において行った。コンクリートを打込んだ各スラブ供試体は、風雨や日照による乾燥を防ぐために合板パネルで打込み面を覆い通気性を良くし、打込み直後から屋外に放置した。スラブ供試体のコンクリート表面や打込み直後の養生状況については参考文献<sup>7)</sup>において詳細に記述している。

### (3) ブリーディング特性および凝結特性

本実験で用いたコンクリートのブリーディング特性を打込み時期別に図-4に示す。一般的に、発生するブリーディング量は沈下ひび割れと密接な関係があり、最終ブリーディング量が多いほど沈下ひび割れが発生しやすい<sup>1)</sup>。本実験では、フライアッシュの有無が沈下ひび割れの発生におよぼす影響を定量的に評価するために、両者のコンクリートのブリーディング量に関して考察しておく必要がある。

夏期打込み、冬期打込みとともに、普通コンクリートとフライアッシュIV種混入コンクリートの最終ブリーディング量はほぼ等しい。これは単位水量がほぼ同程度であることと、フライアッシュIV種の比表面積が高炉セメントよりも小さく、自由水の拘束能力が小さいためと考えられる。フライアッシュI～

III種の場合は、比表面積が高炉セメントよりも大きいため、最終ブリーディング量が減少すると思われる。

一方、ブリーディングが終了する時間は、打込み時期によって大きく異なる。冬期に比べて夏期は約半分程度でブリーディングが終了する。

図-5は、夏期打込みのコンクリートのプロクター貫入抵抗値と経過時間の関係を示す。普通コンクリートよりもフライアッシュIV種混入コンクリートの方が多少始発および終結時間が遅い。しかしながらその差はほとんど無視できる程度であり、始発時間が200分程度で終結時間が330分程度である。室温20°Cの恒温室でブリーディング試験と凝結試験ともに行なったが、練上り温度30°Cの影響を大きく受けたものと思われる。

したがって、ブリーディング試験および凝結試験の結果から、夏期打込みのコンクリートは、コンクリートの種類に関係なく、早い速度で水和が進行したものと思われる。

## 5. 第1シリーズの実験結果および考察

### (1) 沈下ひび割れ幅

打込み時期やコンクリートの種類に関係なく、タンピングを行っていない供試体すべてに、鉄筋に沿ってスラブ上面に沈下ひび割れが発生した。タンピングを行ったかぶり15mm、25mmの供試体には全く沈下ひび割れは発生しなかった。よって、夏期ならびに冬期打込みにおいて、沈下ひび割れはタンピングによって修復することができることが改めて確認できた。

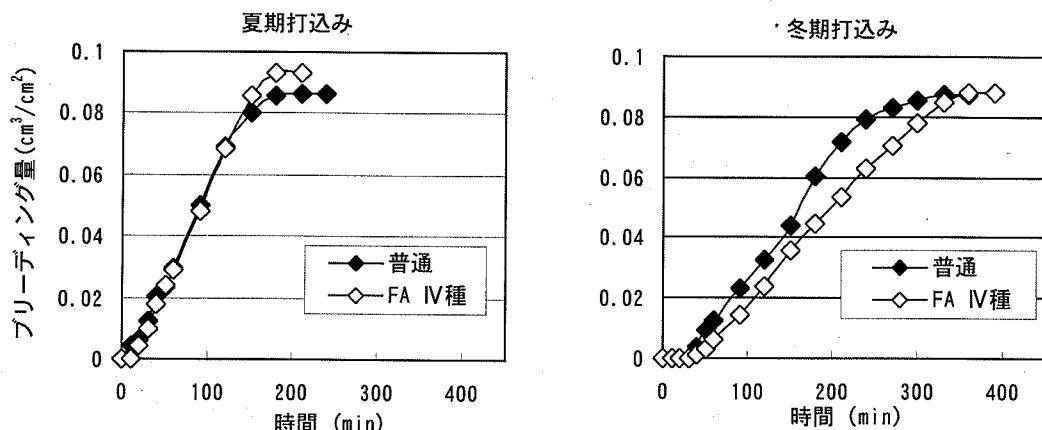


図-4 打込み時期別のブリーディング特性

タンピングを施していない普通コンクリートおよびフライアッシュIV種混入コンクリートの平均ひび割れ幅とかぶりの関係を、打込み時期別に図-6に示す。

打込み時期に関係なく、普通コンクリートおよびフライアッシュIV種混入コンクリートともにかぶりが深くなるに従い平均ひび割れ幅は減少する。夏期打込みにおける普通コンクリートではかぶりと平均ひび割れ幅の相関係数  $\gamma = -0.729$ 、フライアッシュIV種混入コンクリートでは  $\gamma = -0.992$  である。冬期打込みは、普通コンクリートでは相関係数  $\gamma = -0.991$ 、フライアッシュIV種混入コンクリートでは  $\gamma = -0.999$  である。夏期打込みの普通コンクリートの場合を除いて、いずれの相関係数も 0.9 以上であり非常に高い。

フライアッシュIV種混入コンクリートの方が、普通コンクリートよりも沈下ひび割れ幅が小さいが、

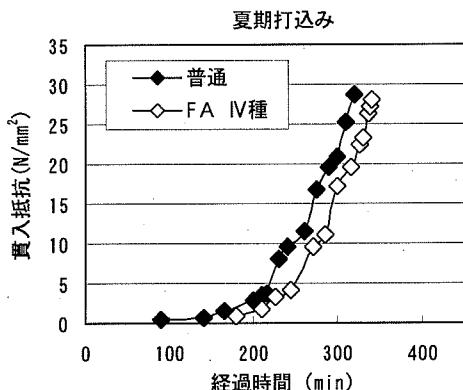


図-5 夏期打込みコンクリートの凝結特性

その傾向は、夏期打込みより冬期打込みの方が顕著である。冬期打込みでは、同一かぶりにおいて、フライアッシュIV種混入コンクリートの平均ひび割れ幅は、普通コンクリートの平均ひび割れ幅の約半分程度である。したがって、海砂代替としてフライアッシュIV種を用いることで、沈下ひび割れ幅を抑制することができる。これはフライアッシュIV種を混入することで、ブリーディング発生量は普通コンクリートと同程度であるにもかかわらず、コンクリート中の微粒子が増大し、コンクリートの粘性が増加することによりブリーディングを伴うコンクリートの沈下に対する追従性およびコンクリートの伸び能力が向上したと思われる。その結果、フライアッシュIV種混入コンクリートのひび割れ抵抗性が大きくなり沈下ひび割れ幅が減少した。

夏期打込みにおいてフライアッシュIV種混入の効果があまり顕著でなかった理由としては、暑中コンクリートにおける早い水和反応によってブリーディング速度が速くなり、沈下ひび割れの進行速度が大きいためと思われる。粘性の増加に伴うフレッシュコンクリートの伸び能力は、練上り温度が低い場合に顕著であり、練上り温度が高くなり沈下ひび割れの進行速度が増加するに従い、伸び能力の効果は減少すると判断される。

## (2) 沈下ひび割れ深さ

打込み時期が夏期、かぶり 25mm の場合の沈下ひび割れ幅とひび割れ深さの関係を図-7 に示す。ここで平均ひび割れ深さは、計測点において沈下ひび割れ幅と深さが同時に計測することができたひび割れ深さをクラックスケールで測定した各ひび割れ毎に平均化したものである。グラフの横軸のひび割れ

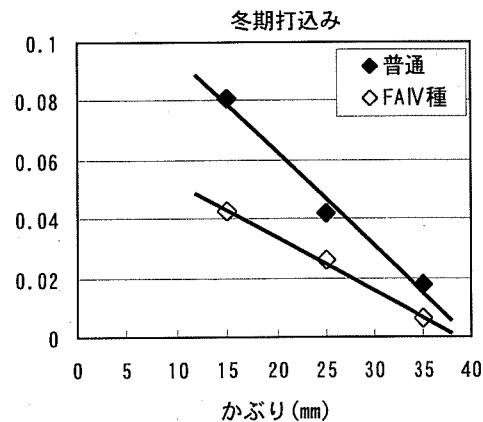
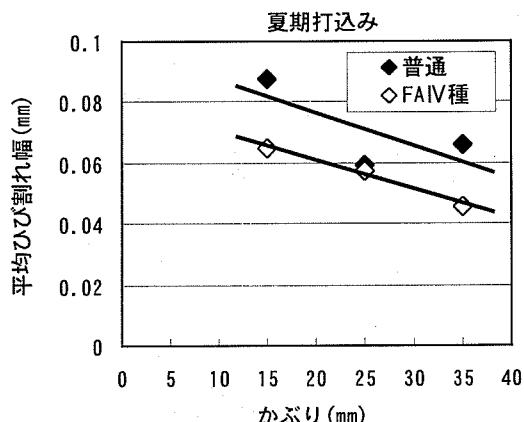


図-6 平均ひび割れ幅とかぶりの関係（第1シリーズ）

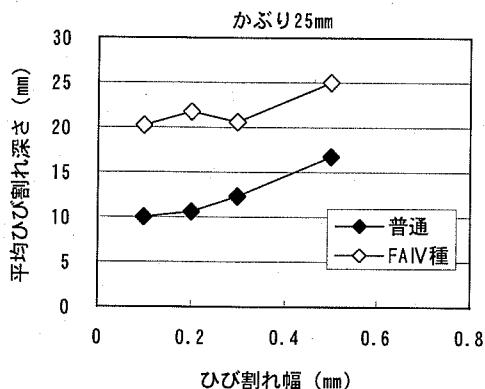


図-7 夏期打込みでのクラックスケールで測定した各ひび割れの幅と深さの関係

幅は、クラックスケールで測定した各ひび割れ幅を意味しており、図-6に示す平均ひび割れ幅の値より大きい。

コンクリートの種類に関係なく、ひび割れ幅が増加するに従い、ひび割れ深さが増加する傾向にある。この傾向は、冬期打込みにおいても認められた。

また、夏期打込みでは、普通コンクリートよりもフライアッシュIV種混入コンクリートの方が同一ひび割れ幅での平均ひび割れ深さが大きい。フライアッシュIV種混入コンクリートの方が、一度ひび割れが開いてしまうとその深さは普通コンクリートよりも深くなってしまうものと思われる。この傾向は、冬期打込みではあまり顕著ではなかった。これらのことより、ひび割れ幅が大きくなるとひび割れ深さは深くなる傾向があるが、その値は、コンクリート

の種類、打込み時期によって異なると考えられる。

沈下ひび割れは、かぶり以上の深さになることはない。つまり、ひび割れ深さの最大値はかぶり厚さである。かぶりの影響を排除するために、ひび割れ深さをかぶり厚さで除したものを相対ひび割れ比として整理した。図-8は、普通コンクリートおよびフライアッシュIV種混入コンクリートで計測されたひび割れ深さ全データを対象として求めた相対ひび割れ比とクラックスケールで測定した各ひび割れ幅の関係を示す。普通およびフライアッシュIV種混入コンクリートすべてを対象としたのは、ひび割れ深さを測定できたひび割れ数が少なかったためである。

冬期打込みのかぶり35mmでは、かぶりの50%程度までしか深さが達しておらず、沈下ひび割れに対するかぶりの影響は大きいことがうかがえる。また、夏期打込みのかぶり15mmでは、ひび割れ幅の大きさに関係なくすべてかぶりまで深さが達している。主鉄筋とスターラップの交差部や柱はり接合部などでは、必ずしもかぶりが最小かぶり以上を満足できない部位が存在する。夏期打込み時にこのようにかぶりが小さい部位では、沈下ひび割れが鉄筋まで達する可能性が高く、耐久性に悪影響を及ぼす可能性が考えられる。

## 6. FA 置換率とセメントの種類が沈下ひび割れに与える影響に関する実験（第2シリーズ）

### (1) 使用材料および配合

細骨材、粗骨材、フライアッシュIV種および混和

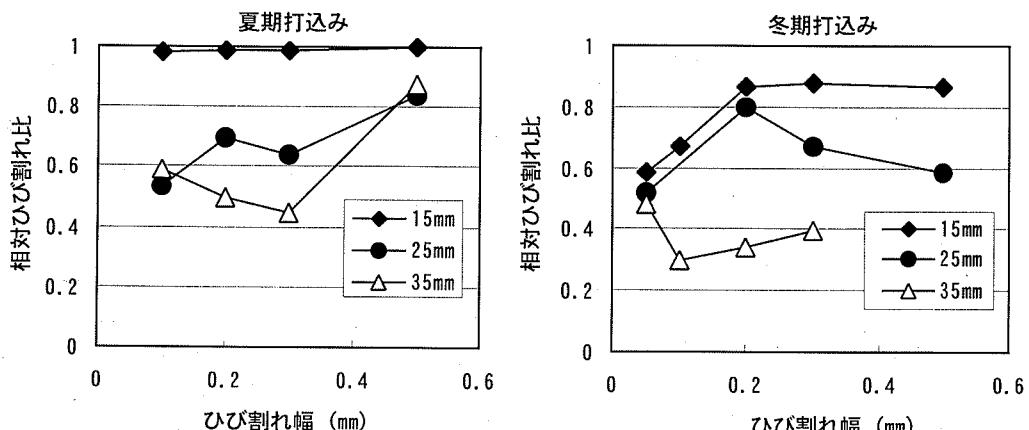


図-8 相対ひび割れ比とクラックスケールで測定した各ひび割れ幅の関係  
(普通およびフライアッシュIV種混入コンクリートの全データを対象)

表-4 第2シリーズに用いたコンクリートの示方配合

配合名	粗骨材 の最大 寸法	目標スラ ンプ(cm)	目標空気 量(%)	W/C (%)	s/a (%)	FA 置換 率(%)	単位量(kg/m³)							
							W	C	FA	S		G	混(×C %)	
										川砂	海砂		①	②
N FA0	25mm	8±2.5	4.5±1.5	55	43	0	151	275	—	566	236	1076	0.25	0.001
N FA10					44	10	148	270	70	747	—	1063		
N FA20					40	20	155	282	125	595	—	1123		
BB FA20					39	20	153	278	121	582	—	1141		

混①: AE 減水剤, 混②: AE 助剤

表-5 第2シリーズのコンクリートのフレッシュおよび硬化性状

配合名	打込み日	外気温度 (°C)	コンクリー トの種類	スランプ (cm)	空気量(%)	練上り温 度(°C)	最終ブリ ーディング量 (cm³/cm²)	材齢 28 日 圧縮強度 (N/mm²)
N FA0	2002/10/29	15.0	普通	9.0	5.2	16.0	0.120	31.5
N FA10	2002/11/7	13.5	FAIV種	10.5	5.5	14.0	0.107	23.1
N FA20	2002/10/29	15.0	普通	8.0	5.1	17.0	0.160	22.1
BB FA20	2002/11/7	13.5	FAIV種	10.0	5.0	13.0	0.180	21.2

剂は、第1シリーズと同じものを使用した。セメントは、普通ポルトランドセメント（密度 3.15 g/cm³）およびシリーズ1と同じ高炉セメントB種を使用した。表-4に第2シリーズに用いたコンクリートの示方配合を示す。配合名は左から、セメントの種類、フライアッシュ置換率を意味する。

### (2)コンクリートの打込み状況

実験は、10月下旬に実施した。表-1に示すように、第2シリーズでは、タンピングを実施した供試体は製作していない。実験に用いたコンクリートのフレッシュ性状を表-5に示す。4種類のコンクリートともすべて、目標スランプおよび目標空気量の範囲を満足する。第1シリーズと異なり、4配合で最終ブリーディング量が異なる。単位水量が多いフライアッシュを20%置換した2配合の方が、最終ブリーディング量が多い。

前述した通り、一般にブリーディング量が多いほど沈下ひび割れが発生しやすい<sup>1)</sup>ことから、BB FA20のコンクリートが最も沈下ひび割れが発生しやすい配合であると言える。

### (3)ブリーディング特性および凝結特性

本実験で用いた4種類のコンクリートのブリーディング特性を図-9に示す。また、図-10に、プロクター貫入抵抗値と経過時間の関係を示す。

ブリーディングは、BB FA20を除いた3配合が400分程度で終了しており、第1シリーズにおける冬期

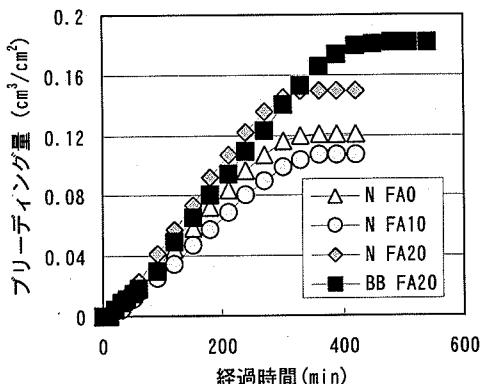


図-9 秋期打込みのブリーディング特性

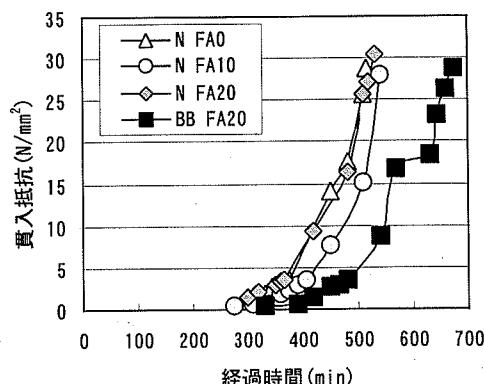


図-10 秋期打込みの凝結特性

打込みのコンクリートのブリーディング特性に類似している。BB FA20のブリーディング終了時間は、500分以上であった。

普通ポルトランドセメントを用いた3配合において、フライアッシュIV種の置換率の違いによる差ではなく、始発時間が350分程度で終結時間が500分程度であった。N FA10の凝結が遅れたのは、N FA0、N FA20に比べて練上り温度が低かったことによるものと考えられる。高炉セメントB種を用いたBB FA20は高炉スラグ微粉末およびフライアッシュIV種の影響により、凝結時間が長くなり、始発時間が450分程度で、終結時間が680分程度であった。第1シリーズの夏期打込みの場合と比較して、始発時間、終結時間ともに約2倍程度である。

## 7. 第2シリーズの実験結果および考察

### (1) 沈下ひび割れ幅

コンクリート配合別の平均ひび割れ幅とかぶりの関係を図-11に示す。かぶり25mm以上では、かぶりが大きくなるに従い平均ひび割れ幅は小さくなっている。N FA0に比べN FA10、N FA20では平均ひび割れ幅が大幅に抑えられている。これはフライアッシュIV種混入によるひび割れ抑制の効果であると思われ、平均ひび割れ幅が0.02mm以下で、この値はヘアクラックと判定したひび割れ幅0.01mmに近似しており、ほぼひび割れが発生していない状態と言える。

しかし、かぶり15mmにおいては、N FA20の平均ひび割れ幅がNFA0のそれを上回っておりフライアッシュIV種混入の効果は得られなかった。むしろ、

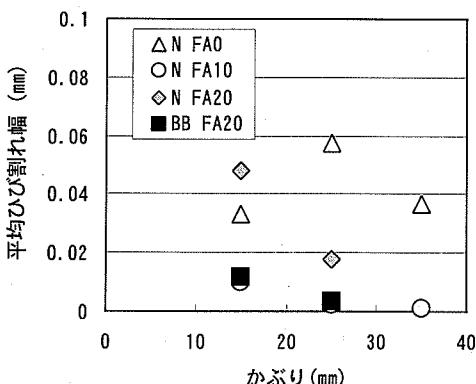


図-11 平均ひび割れ幅とかぶりの関係  
(第2シリーズ)

かぶりが浅い場合にはひび割れ幅はブリーディング量の影響を受けやすいと考えられる。したがって、基準かぶり厚さである25mm以上では、海砂代替としてフライアッシュIV種を10%以上置換することにより、沈下ひび割れの抑制効果が十分に得られる。

一方、BB FA20は、かぶりの大きさに関係なく、

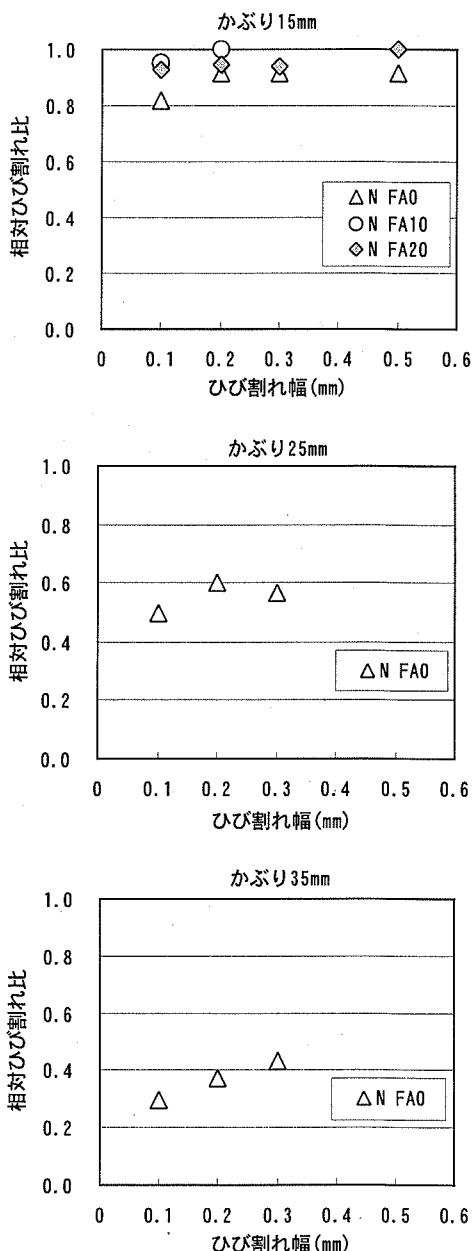


図-12 相対ひび割れ比とクラックスケールで測定した各ひび割れ幅の関係(第2シリーズ)

平均ひび割れ幅が 0.01mm 以下である。フライッシュの置換率 20%で単位水量が多く最終ブリーディング量が最も多いのにも関わらず、ひび割れ幅が非常に小さいことは注目に値する。普通ポルトランドセメントよりも高炉セメント B 種の方が FA の効果が大きいと判断される。この現象のメカニズムについては今後検討していきたい。

## (2) 相対沈下ひび割れ比

図-12 に、かぶり別におけるひび割れ幅と相対ひび割れ比の関係を示す。かぶり 25mm と 35mm において、N FA0 以外の配合のデータが無いのは、すべてのひび割れ幅が 0.05mm 以下であり、ひび割れ深さを計測できなかったためである。

かぶり 15mm においては、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートは、いずれのひび割れ幅においてもひび割れが鉄筋付近にまで達していた。また N FA0 は、かぶり 25mm では相対ひび割れ比が 0.6 度程、かぶり 35mm では 0.4 度程であり、ひび割れ深さにして共に 10~15mm 程度である。

図-8 に示す第 1 シリーズの相対沈下ひび割れ比の結果においても、かぶり 25mm とかぶり 35mm の相対ひび割れ比は、ひび割れ幅の大きさに依存するものの、それぞれ 0.6 と 0.4 度程と見なせる。その値よりひび割れ深さとしては 10~15mm 程度である。かぶりが 15mm の場合には、第 1 シリーズ、第 2 シリーズともに相対ひび割れ比が 0.8~1 度程となり、ひび割れ深さは 12~15mm 程度である。このことより、沈下ひび割れのひび割れ深さは、常に鉄筋位置までひび割れが達するのではなく、コンクリート表面からある程度の深さまでしか成長しないと考えられる。

沈下ひび割れがタンピングによって修復できる最大の理由は、このひび割れ深さの性質によるものと思われる。もし、ひび割れ幅によってひび割れ深さが増大するのであれば、タンピングによる修復が不可能になるひび割れも存在すると思われる。また、かぶりを十分に確保することは、タンピング作業の不確実性を排除する設計上の対策として非常に有効であることが再確認された。

## 8.まとめ

本研究では、海砂代替としてフライッシュ IV 種を混入したコンクリートの打込み直後の伸び能力の評価のため、RC スラブ供試体のコンクリート表面に発生する沈下ひび割れ特性について実験的に検討

した。以下に得られた知見を記す。

- (1) 打込み時期に関係なく、フライッシュ IV 種混入コンクリートの沈下ひび割れ幅は、普通コンクリートに比べて小さい。この効果は、普通ポルトランドセメントよりも高炉セメント B 種を用いたコンクリートの方が顕著である。
- (2) 夏期打込みよりも秋期や冬期打込みの方が、フライッシュ IV 種混入コンクリートの沈下ひび割れの抑制効果が大きく、同一かぶりにおいて沈下ひび割れ幅を半減することができる。
- (3) 打込み時期、コンクリートの種類に関係なく、沈下ひび割れの深さは、ひび割れ幅に比例して増加する。ブリーディング速度や凝結速度の影響のため、冬期打込みよりも夏期打込みの方が、同一ひび割れ幅に対する深さが大きく、かぶりが小さい場合は鉄筋位置までひび割れが達する。
- (4) 25mm 以上のかぶりを確保し、海砂代替としてフライッシュ IV 種を 10% 以上置換したコンクリートでは、打込み直後の伸び能力が改善される。

**謝辞：** 本研究を遂行するにあたり、徳島県生コンクリート工業組合・阿南生コンクリート工業㈱の横手晋一郎氏、黒田力氏らのご協力を受けましたことを付記し、深く感謝の意を表します。また、徳島大学工学系大学院建設工学専攻平成14年度修了の山川正泰君と工学部建設工学科平成13年度卒業の白井一雄君、14年度卒業の真野雅文君の御協力を得ました。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 源島良一、徳光義治、牧角龍憲：コンクリートの沈みひびわれに関する実験的研究、第 37 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp.215-216, 1982.
- 2) 源島良一、徳光義治、牧角龍憲：沈みひびわれに関する実験的研究－断面変化部の流動性状、第 38 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp.215-216, 1982.
- 3) 小沢一雅、大西精治、山崎実：沈下ひびわれの定量化に関する研究、第 39 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp.215-216, 1982.
- 4) 杉山隆文、辻幸和、橋本親典、黒岩俊之：鉄筋コンクリートの沈下ひび割れの発生要因とその対策に関する基礎研究、土木学会論文集、No.557/V-34, pp.101-109, 1997.
- 5) 土木学会四国支部編：フライッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案），2003.

- 6) 土木学会コンクリート委員会編：9.2 かぶり，2002 年  
制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，  
pp.119-120, 2002.
- 7) 山川正泰，橋本親典，渡辺健，横手晋一郎：フライアッシュⅣ種混入コンクリートを用いた鉄筋コンクリートの沈下ひび割れに関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集 Vol.24, No.1, pp.171-176, 2002.
- 8) 渡辺健，橋本親典，上田隆雄，横手晋一郎：非破壊検査によるフライアッシュⅣ種混入コンクリートの沈下ひび割れの定量的評価，セメント・コンクリート論文集，No.56, pp.339-345, 2002.
- 9) 魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，1990.

(2003. 9.12 受付)

## STUDY ON SETTLEMENT CRACKS ON REINFORCED CONCRETE SLAB PLACING THE CONCRETE WITH FLY ASH OF TYPE IV

Takeshi WATANABE, Chikanori HASHIMOTO, Hiroyuki MIZUGUCHI  
and Takao UEDA

In order to clarify the extensibility of fresh concrete with fly ash of type IV that substitute for sea sand, visual inspection and ultrasonic method of nondestructive testing are performed to evaluate width and depth of settlement cracks of normal concrete and concrete with fly ash of type IV. As results of this experimental study, it is observed that the average of settlement crack width of concrete with fly ash of type IV become as half as one of normal concrete in same covering. It is confirmed that settlement cracks penetrate relatively closer at the position of reinforcement bar, as covering thickness become thinner regardless of the season placing concrete, the sort of cement and the replacement ratio of fly ash.