

論文 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

山川 正泰*1・橋本 親典*2・渡辺 健*3・横手 晋一郎*4

要旨:海砂代替を目的としたフライアッシュIV種混入コンクリートの基礎物性の把握として鉄筋コンクリートの沈下ひび割れに着目し、フライアッシュ混入コンクリートと普通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。その結果、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約半分程度まで低減することができること、コンクリートの種類に関係なく、スラブ上の沈下ひび割れはスラブ端部に生じることが明らかになった。

キーワード:フライアッシュIV種, 沈下ひび割れ, かぶり, スラブ型枠, タンピング

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いるなか、コンクリートに発生するひび割れは、コンクリート構造物の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、打ち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置かれている場合には、沈下するコンクリートの局所的な妨げになり、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。この沈下ひび割れは、タンピング作業を行うことにより消去することは可能であるが、その作業はコンクリート打ち込み数時間後に行われるために、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も指摘されている。

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、その基礎物性の把握のために鉄筋コンクリートの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。スラブ型枠上面の51箇所の計測点に発生する沈下ひび割れ幅をクラックスケールを用いて6段階に分類し、統計的評価を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究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-1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。

セメントは高炉セメントB種(密度 3.04g/cm^3)を使用した。細骨材は阿南市下大野町産砕砂(表乾密度 2.62g/cm^3 , 吸水率1.30%, 粗粒率3.30, 表-1中の細①)と愛媛県越智郡伯方町産海砂(表乾密度 2.57g/cm^3 , 吸水率1.94%, 粗粒率1.90, 表-1中の細②)を混合して使用し、粗骨材は阿南市下大野町産碎石(表乾密度 2.63g/cm^3 , 吸水率0.90%, 実積率

*1 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

*2 徳島大学教授 工学部建設工学科 工博 (正会員)

*3 徳島大学助手 工学部建設工学科 工博 (正会員)

*4 阿南生コンクリート工業(株)代表取締役 (正会員)

表—1 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配合

	W/C (%)	目標スランプ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	目標空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
						水	セメント	細①	細②	FA	粗骨材	混①	混②
普通	53	8±2.5	25	4.5±1.5	42.0	148	280	550	231	—	1091	2.98	—
FAIV種	53	8±2.5	25	4.5±1.5	43.0	146	276	728	—	68	1076	2.93	4.83

62.0%) を使用した。フライアッシュIV種 (密度 2.20g/cm³, 比表面積 1910 cm²/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 (混①) 及び AE 剤 (混②) を用いた。

2.2 かぶりの選定

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¹⁾を参考にした。本研究では, 鉄筋として D22 異形鉄筋を使用した。対象とする鉄筋コンクリート部材をスラブ部材とし, 環境条件として一般の環境条件を想定し, 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} ²⁾ を満足する値として, 25mm とした。これを基準かぶりとし, $C_{lim} \pm 10$ mm とした 15mm と 35mm の計 3 種類とした。

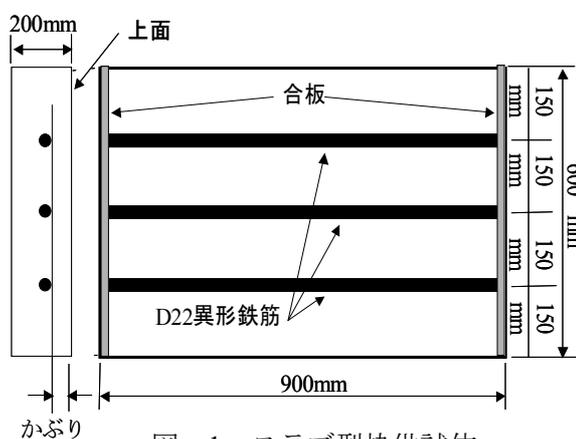
2.3 供試体形状およびタンピングの有無

軸方向鉄筋上側に発生する沈下ひび割れを模擬するため, 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スラブ型枠供試体を示す。

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 15 mm と 25 mm 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を行わないもの 2 種類を作製した。かぶり 35mm に関しては, 沈下ひび割れの発生が少なくと考え, タンピングを行わないもののみとした。

2.4 実験概要

実験に用いたコンクリートのフレッシュ性



図—1 スラブ型枠供試体



写真—1 スラブ型枠供試体

状を表—2 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。

本実験に用いたスラブ型枠供試体の数は, 同一配合において, かぶり 15 mm と 25 mm についてはタンピングを行うものを行わないものそれぞれ 1 体ずつ, かぶり 35mm についてはタンピングを行わないもの 1 体, 合計 5 体である。この 5 体の供試体に, 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を打設し (写真—2), 雨の影響を避けるため合板で表面を覆い通気性を良くし供試体を 1 日屋外に放置する (写真—3)。ただし, タンピングを行うものは打ち込み後約 8 時間程度経過し, ブリーディングが終了した後に, 金ごてでタンピングし

表-2 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諸性状

	スランプ (cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)	最終ブリーディング量(cm ³ /cm ²)	圧縮強度(N/mm ²)
普通	8.5	4.6	14.5	0.087	25.5
FA IV種	10.5	6.0	11.0	0.088	22.8



写真-2 打込み直後のスラブ表面



写真-3 打込み終了後の養生状態

沈下ひび割れを修復する。打込み後十分に硬化した後に、後述する方法により、沈下によるひび割れ幅を計測した。なお、本実験は、12月上旬の生コンクリート工場のストックヤードにおいて行った。

経過時間に伴うブリーディング量の変化を図-2に示す。また、経過時間に伴うブリーディングの発生状況はほとんど同じであった。これは単位水量がほぼ同じであるためと考えられる。ブリーディング終了時間が7時間程度で非常に長いのは、コンクリート温度が低いためである。

2.5 ひび割れの評価方法

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。沈下ひび割れの定量的評価は、埋め込まれた鉄筋上のスラブ供試体の表面に、図-3に示すA・B・Cのエリアを設け、50mm 間隔で引いた線と沈下ひび割れとの交点を計測点とし、写真-4に示すクラックスケールを用いて、ヘアクラック、0.05mm、0.1mm、0.2mm、0.3mm および0.5mm の6段階のひび割れ幅に目視により分類する。したがって、供試体1体につき17@3=51点の計測点について6段階のひび割れ幅に関するひび割れ数を求めることになる。なお、ヘアクラックについては、他のひび割れ幅と同

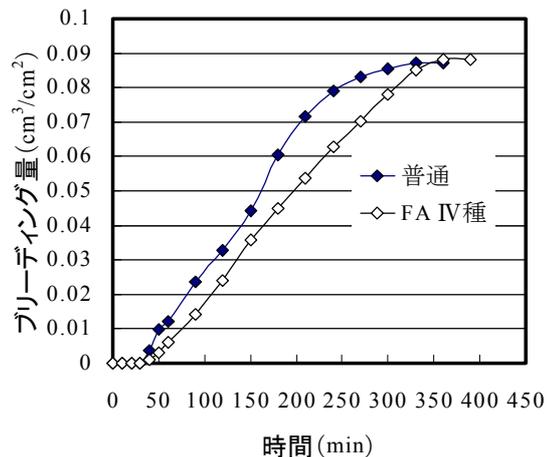


図-2 各配合のブリーディング試験結果様に数値データとして取り扱うために、0.01mmと設定し、ひび割れ数を求めた。また、計測点でひび割れが観測されない場合は、0mmという数値データとして扱った。

3. 結果および考察

3.1 ひび割れの統計処理

図-4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の各供試体に発生した各ひび割れ幅別のひび割れ数を示す。両コンクリートともにひび割れ幅が小さいものは、かぶりが大きくなるに従い、ひび割れ数が多くなる。フライアッシュIV種混入コンクリートの方が、明らかにひび割れ幅0mmのひび割れ数

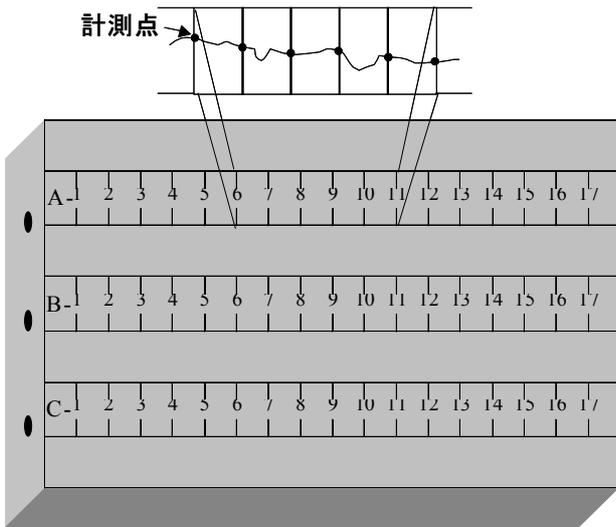


図-3 スラブ型枠供試体エリア分け

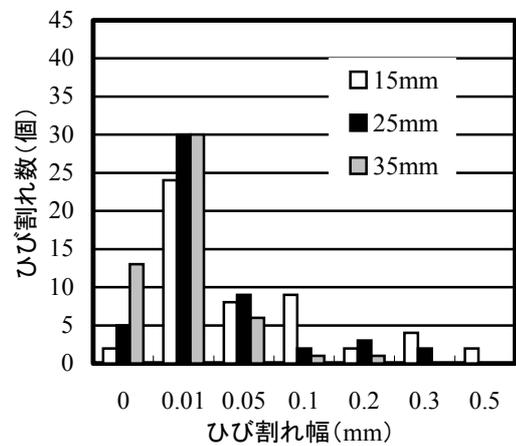
が普通コンクリートに比較して多い。つまり、フライアッシュIV種の供試体の方が、沈下ひび割れの発生が少ない。なお、タンピングを施した供試体は、コンクリートの種類に関係なく、全く沈下ひび割れが発生していなかった。

3.2 平均ひび割れ幅

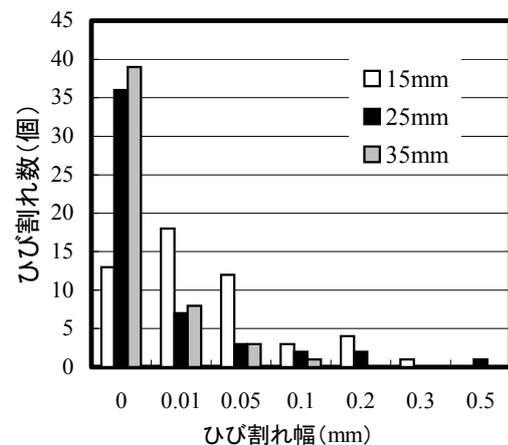
本論文では、スラブ型枠上に生じ任意の点において計測されたひび割れ幅の総和を、計測点の数(51点)で除したものを平均ひび割れ幅とする。図-5は、普通コンクリートとフライアッシュIV種混入コンクリートにおけるかぶりと平均ひび割れ幅の関係を示す。かぶりと平均ひび割れ幅には強い相関関係があり、普通コンクリートでは相関係数 $\gamma = -0.991$ 、フライアッシュIV種混入コンクリートでは、 $\gamma = -0.999$ である。また、両者の直線の近似式から、同一かぶりにおいて、フライアッシュIV種の平均ひび割れ幅は、普通コンクリートの平均ひび割れ幅の約半分程度であると判断される。したがって、海砂代替としてフライアッシュIV種を用いることで、沈下ひび割れ幅を半減することができる。これはフライアッシュIV種を混入することで、普通コンクリートと比較してコンクリート中の微粒子が増大し、それに伴う表面積の増加により水分拘束が拘束され、ひび割れが発生しにくかったものと思われる。



写真-4 クラックスケールと沈下ひび割れ



(1) 普通コンクリート



(2) FAIV種混入コンクリート

図-4 沈下ひび割れ幅の発生状況

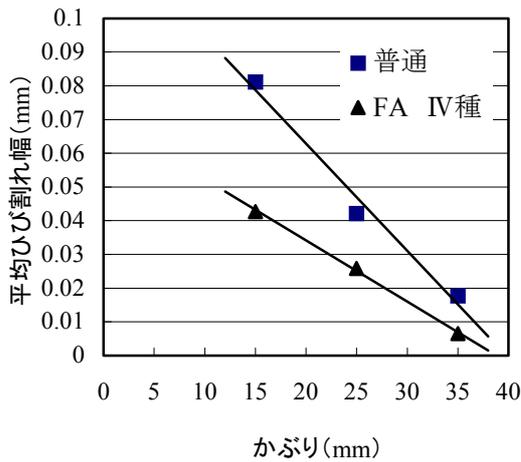


図-5 かぶりと平均ひび割れ幅の関係

3.3 かぶり別のひび割れの分布状況

スラブ供試体上の沈下ひび割れの発生状況を考察するために、A、B、Cの3つのエリア別のひび割れ幅の分布状況を図示する。本節では、ひび割れの発生状況を視覚的に捉えるために、本来独立である計測点におけるひび割れ幅をエリア別に滑らかな曲線で結ぶこととした。

図-6、図-7および図-8に、普通コンクリートのかぶり別ひび割れ分布状況を示す。かぶり15mmにおいては、Aの1-3とBの14-16、Cの12-15に大きいひび割れが発生している。つまりひび割れは端部に集中し、スラブ型枠の間には発生しにくい傾向にある。

かぶり25mmにおいても、ひび割れ幅の大きさはかぶり15mmの場合よりは小さいが、その分布状況はかぶり15mmの時と同様に、端部に集中する。しかし、かぶり35mmでは、Cの2-3で比較的大きいひび割れが生じているが、それ以外の点ではほぼひび割れは生じていない。

図-9、図-10および図-11に、フライアッシュIV種混入コンクリートのかぶり別ひび割れ分布状況を示す。普通コンクリートと若干ひび割れ幅の大きさの差はあるが、普通コンクリートと同様の傾向を示す。かぶり25mmについては、エリアAにひび割れが集中しているがB、Cにはほとんど発生せず、かぶり35mmは全エリアにおいてひび割れはほとんど発生しない。

以上の考察により、配筋されたスラブ型枠上

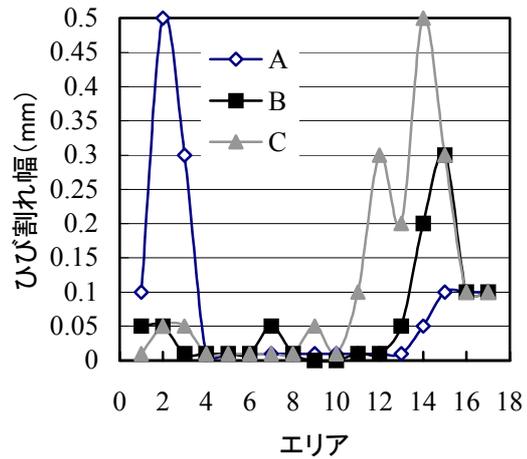


図-6 エリア別ひび割れ分布状況 (普通コンクリート・かぶり15mm)

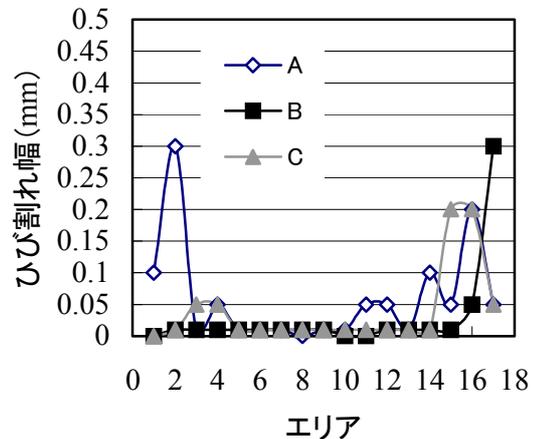


図-7 エリア別ひび割れ分布状況 (普通コンクリート・かぶり25mm)

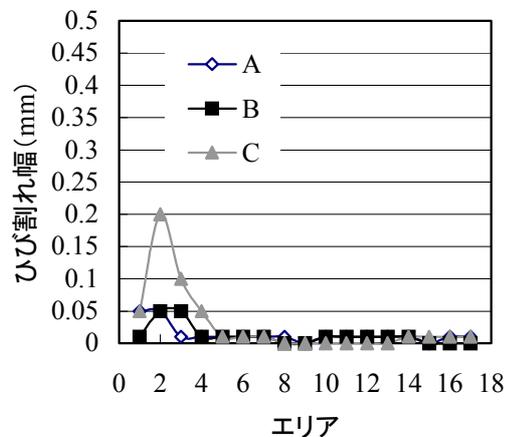


図-8 エリア別ひび割れ分布状況 (普通コンクリート・かぶり35mm)

で沈下ひび割れが生じやすい部位は、スラブ端部である。これは、コンクリートが異形鉄筋のみの拘束だけでなく隅角部の側板の拘束を受けるため、また隅角部で型枠面に沿って上昇する水分の影響のためと考えられる。さらに一对の対角線上にひび割れが発生した原因として、型枠内に埋め込んだ供試体吊り用の金具(写真-2, 左下・右上) がブリーディング水の通り道となりこの周辺が沈下し、最も近い鉄筋に沈下ひび割れの発生を促したと考えられる。

これは実際の施工現場においては、スラブ・柱接合部においてスラブ主筋と鉛直に交差する柱主筋付近でスラブ型枠にコンクリートを先に打ち込んだ場合、柱主筋付近でスラブ主筋に沿って沈下ひび割れ沈下ひび割れが発生しやすいことを示唆するものである。特に接合部では鉄筋量が多くなり十分なかぶりを確保できなく、かつタンピングしにくい断面であり、沈下ひび割れに対する念入りの施工が要求される。

4. まとめ

本研究で得られた成果を以下に記す。

- (1) フライアッシュIV種を海砂代替として使用することにより、同一かぶりにおいて、フライアッシュIV種の平均ひび割れ幅は、普通コンクリートの半分程度まで低減することができる。
- (2) 配筋されたスラブ型枠上で沈下ひび割れが生じやすい部位は、スラブ端部である。

参考文献

- 1) 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.101-109,1997.2
- 2) 土木学会コンクリート委員会編:9.2 かぶり, 平成8年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp. 105~106, 平成8年3月

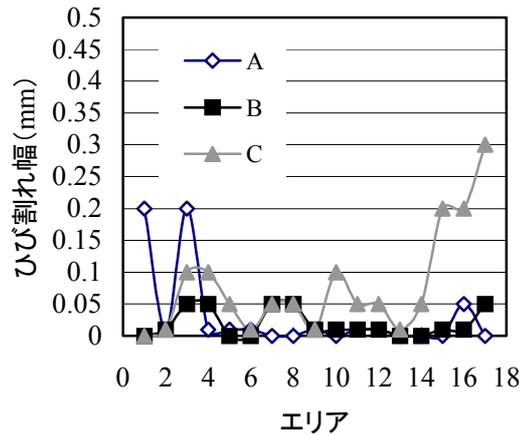


図-9 エリア別ひび割れ分布状況
(FA IV種混入コンクリート・かぶり 15mm)

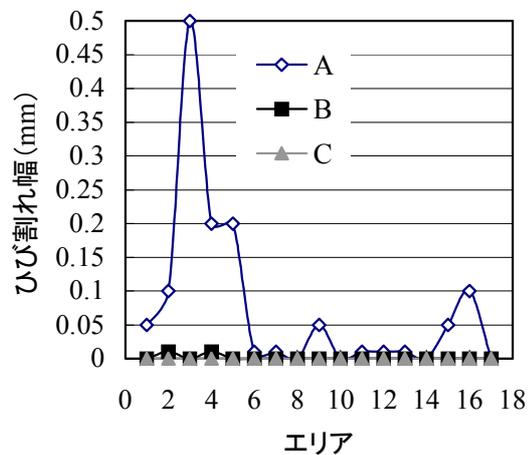


図-10 エリア別ひび割れ分布状況
(FA IV種混入コンクリート・かぶり 25mm)

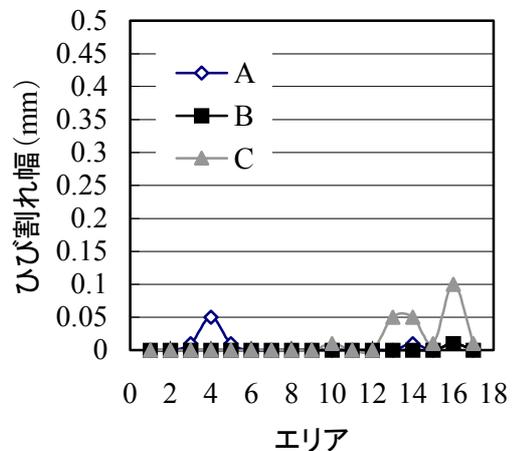


図-11 エリア別ひび割れ分布状況
(FA IV種混入コンクリート・かぶり 35mm)