

# 論文 配合および施工条件がコンクリートのコールドジョイントに与える影響

許賢太郎\*1・小森大育\*1・加藤佳孝\*2・魚本健人\*3

**要旨:**本研究では配合要因および施工条件がコールドジョイント面の強度と耐久性に与える影響を明らかにすることを目的とし、実験的に検討した。その結果、配合によるブリーディング量の違いが強度特性、耐久性に与える影響が示された。また、施工条件のうち、突き固めの影響を、材料の混合量を測定することによって評価した。その結果、突き固めによるコールドジョイント部の曲げ強度の増加を説明できた。

**キーワード:**コールドジョイント, ブリーディング, 突き固め, 曲げ強度, 中性化

## 1. はじめに

コンクリートのコールドジョイント（以下C Jと略称）に対する社会的な関心は高いが、既往の研究<sup>1)</sup>では、諸性状のうち、明らかにされていない部分も多い。

まだ完全に硬化しないコンクリートの上に新たなコンクリートを重ねて打設する際に、下層コンクリートから発生するブリーディング水とそれによって生じるレイタンスはC J面の強度、耐久性に大きく影響を与えると考えられる。そのため、本研究では下層コンクリートのブリーディングがC J面の付着強度および耐久性に与える影響を把握するため、配合条件としてブリーディング量を

変化させ実験を行うことにより、これを検討した。

また、突き固めでは上層のコンクリートだけでなく、突き棒などの先端が下層のコンクリートまで達するように突き固めることが良いとされているが、実際の施工では必ずしも下層までの突き固めがされない場合もあり、突き固めがC J面の付着強度特性および耐久性に与える影響についても検討を行った。

なお、本研究では下層コンクリート硬化後に上層コンクリートを打設する、いわゆる「打継ぎ」と区別するため、硬化前の下層コンクリートの上に、表面処理を行わずに上層コンクリートを打ち込むことを「打重ね」と定義した。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
	密度 3.16(g/cm <sup>3</sup> )、比表面積 3080(cm <sup>2</sup> /g)
細骨材	富士川産川砂
	密度 2.63(g/cm <sup>3</sup> )、吸水率 1.65(%)
粗骨材	両神産砕石
	密度 2.70(g/cm <sup>3</sup> )、吸水率 0.63(%)
混和材	石灰石微粉末
	密度 2.70(g/cm <sup>3</sup> )、比表面積 4080(cm <sup>2</sup> /g)
混和剤	AE減水剤
	リグニンスルホン酸化合物 ポリオール複合体
	高性能AE減水剤
	ポリカルボン酸エーテル系
	空気量調整剤
	アルキルアリルスルホン酸化合物系

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

本研究で使用したコンクリートの材料と、その物性値は表-1の通りである。

### 2.2 配合条件

実験に用いたコンクリートの配合を表-2に、フレッシュ性状と材齢4週の圧縮強度を表-3に示す。本研究では、ブリーディング量の違いによる影響を把握することを目的としたために、水セメント比およびスランプにはあまりこだわらない

\*1 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤工学専攻 (正会員)

\*2 東京大学 生産技術研究所 助手 博(工) (正会員)

\*3 東京大学 国際・産学共同研究センター 教授 工博 (正会員)

表-2 使用したコンクリートの配合

	W/C	s/a	単位数(kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (ml/m <sup>3</sup> )
			W	C	S	G	
配合1	55	47	163	296	853	1003	740
配合2	59	46	175	297	820	1005	741

	w/p	W/C	単位数(kg/m <sup>3</sup> )					SP (C×%)
			W	C	LP	S	G	
配合3	85	39	168	437	161	727	852	1.3
配合4	85	39	168	437	161	727	852	1.6

表-3 コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度

	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
配合1	12.8		3.3	42.7
配合2	16.8		4.7	35.1
配合3	20.0	33.2	5.1	68.4
配合4		62.4	6.1	64.4

配合条件とした。配合1は水セメント比55%、スランプ12cmの標準的な配合であり、配合2はブリーディング量を多くするために、粗骨材量、セメント量をほぼ固定したまま、単位水量を増やした配合である。これに対して、配合3と配合4はノンブリーディングを実現するための高流動型の配合であり、既往の研究では検討されていない石灰石微粉末を添加した。配合3と配合4では高性能減水剤添加率のみが異なり、配合3はスランプ20cm、スランプフロー33cm程度、配合4はスランプフロー約62cmのフレッシュ性状を示した。なお、すべての配合において空気量が5%程度になるよう、空気量調整剤を適宜添加した。

### 2.3 供試体作成

本研究で使用する供試体の寸法は10cm×10cm×40cmとした(図-1)。本研究では型枠を縦方向に用い、下層20cmにコンクリートを打設した後、所定の打重ね時間間隔をあけ、上層20cmのコンクリートを打重ねることにより人為的にCJを発生させた。打重ね時間間隔は2、4、6、24時間とした。なお実験は約20℃の標準的な環境で行った。

全ての下層コンクリートと配合1、2、3の上層コンクリートは、10回の突き固めを行った後、型枠を木づちでたたいて打設した。このとき、上層コンクリートの場合には突き棒の先端が下層約

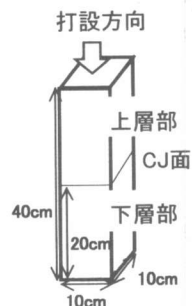


図-1 供試体の形状

5cmの深さに達するように突き固めることとした。しかし、打重ね時間間隔が6時間、24時間の場合では下層が硬く下層まで突き棒が入らなかったため、上層のみの突き固めとした。なお、配合4は高流動コンクリートであるため、突き固めは行わなかった。また、突き固めによる影響を把握するため、配合1と3では上層コンクリートのみ突き固めを行わず、型枠を木づちで叩くだけで充填させた供試体も作成した。脱型は24時間後に行い、養生は屋外シート内での散水養生とした。

### 2.4 ブリーディング試験

ブリーディング量、ブリーディング率はコンクリートのブリーディング試験(JIS A1123)の規定によって試験を行い、測定した。

### 2.5 プロクター貫入試験

プロクター貫入抵抗はプロクター貫入試験方法(JIS A6204「付属書1」)に基づき測定した。ただし、本研究では凝結初期での値も測定するため、写真-1に示すような小型のロードセルを用いて、最小の貫入荷重を0.01Nまで測定した。

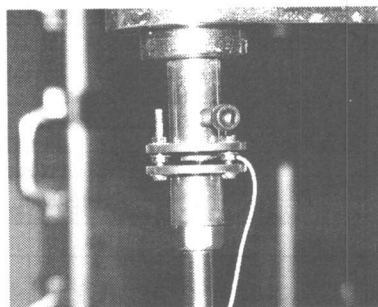


写真-1 プロクター貫入試験装置に装着した小型ロードセル

## 2.6 曲げ強度試験

本研究ではC J面の付着強度特性の評価法として、既往の研究文献で割裂引張強度などに比べて比較的ばらつきが少ないとされる曲げ強度を採用した。曲げ強度はコンクリートの曲げ強度試験方法 (JIS A1106) に基づいて測定し、材齢4週で、一条件につき3本の供試体について試験を行った。

## 2.7 促進中性化試験

促進中性化試験に使用する供試体は曲げ強度試験用のものと同様に作成した。材齢2週で5面をシールし、促進中性化槽に投入した。促進条件は二酸化炭素濃度 10%、温度 40℃、湿度 55%とした。促進材齢4週および8週で取り出し、打重ね面と垂直方向に供試体を割裂した後、フェノールフタレイン法でC J部とそれ以外の部分(健全部)の中性化深さを測定した (図-2)。

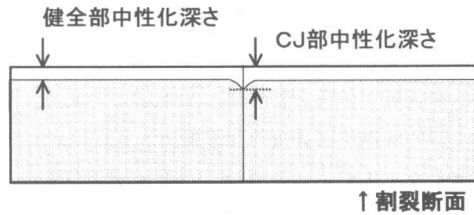
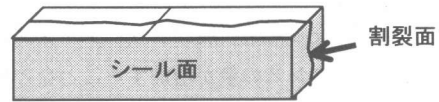


図-2 中性化深さの測定

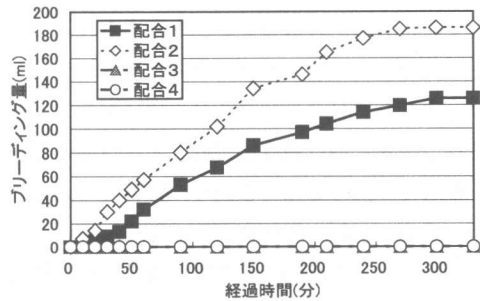


図-3 ブリーディング試験の結果

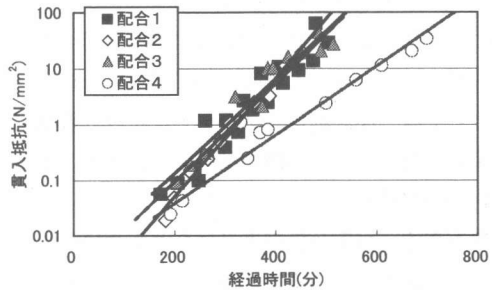


図-4 プロクター貫入試験の結果

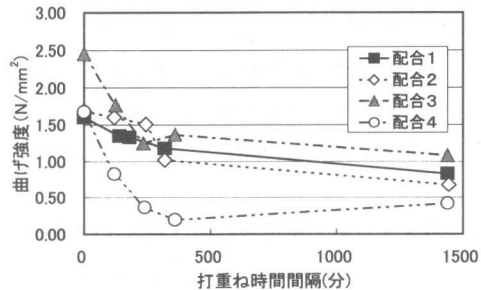


図-5 打重ね時間間隔と曲げ強度の関係

### 3.3.1 ブリーディングと曲げ強度

打重ね時間間隔と曲げ強度の比の関係を図-6に示す。配合1と2の比較ではブリーディング量の多い配合2のほうが4時間での強度低下が少な

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 ブリーディング試験

ブリーディング試験の結果を図-3に示す。配合設計でのねらい通り、配合2は配合1よりも高いブリーディング量を示した。また、ブリーディング率は配合1が8.65%、配合2が13.1%となった。配合3、4はブリーディング量0であった。

### 3.2 プロクター貫入試験

プロクター貫入試験の結果を図-4に示す。配合1、2、3は、ほぼ同じ凝結性状を示したが、初期に着目すると配合2に比べて配合1、3はやや大きな貫入抵抗値を示した。また、配合4は遅延する結果となったが、配合3に比べて高性能AE減水剤の添加量が多いことによる凝結遅延効果が原因と考えられる。

### 3.3 曲げ強度試験

打重ね時間間隔と曲げ強度の関係を図-5に示す。打重ね時間間隔が大きくなるにつれ曲げ強度は低下しているが、打重ね時間0の一体打ち供試体の曲げ強度が各配合で異なるため、これ以降、打重ね時間間隔0の曲げ強度に対する、打重ね供試体の曲げ強度の比を評価の対象とした。

いという結果になった。一般にブリーディング量が多いと、レイタンスの量が増加することなどの影響によりC J面の付着強度を落とすという効果と、下層コンクリート表面の乾燥を防ぎ、凝結速度を抑えることにより強度を上げる効果が考えられるが、本実験では後者が卓越したものと考えられる。5時間を越すと強度比は逆転し、配合1のほうが高くなっている。これは、ブリーディングの終了とともに乾燥防止の効果が薄れ、レイタンスの影響が顕著になってきている影響と考えられる。しかし、データのばらつきとも考えられるため、さらに詳しい検討が必要である。

ブリーディング量0の配合3と4では配合1、2に比べ、さらに曲げ強度比が低下する結果となった。配合4に関しては突き固めの影響も考えられるが、配合3に関しては突き固めを行っているにもかかわらず、4時間で約5割と急激な曲げ強度比の低下を示した。この原因として、藤井ら<sup>2)</sup>はブリーディングがなく、乾燥が起りやすいことによって生じる「こわばり」現象をあげているが、未だそのメカニズムは明らかではない。他の原因としては、高流動コンクリートは材料分離抵抗性が高いため、水和初期の段階でも、上層と下層で材料の移動が少なく、一体化しにくいこと、変形性が高く、打重ね面が平滑になりやすいため付着性を落としていることなどが考えられる。あるいは、ブリーディングによって生じるレイタンスはないものの、それに代わる脆弱な層または膜がC J面に存在する可能性も考えられる。このため、今後、レイタンスも含め、C J面に存在する弱点を微視的に観察し、検討する必要があると考えられる。

次にプロクター貫入抵抗値と曲げ強度比の関係を図-7に示す。配合2では貫入抵抗値 0.1 (N/mm<sup>2</sup>) で約9割の曲げ強度比を保った。これに対して配合1, 3, 4では貫入抵抗値にかかわらず、直線的な強度比の低下を示している。したがって、本研究の範囲内では既往の研究文献<sup>1)</sup>で示されているようなプロクター貫入抵抗を用いた曲げ強度低下の判断は難しいといえる。

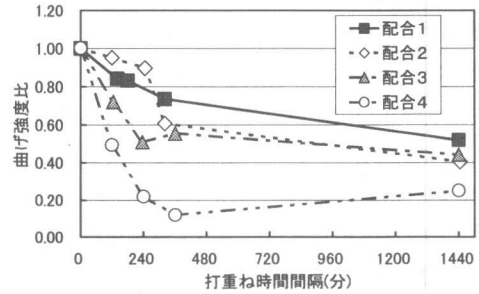


図-6 打重ね時間間隔と曲げ強度比の関係

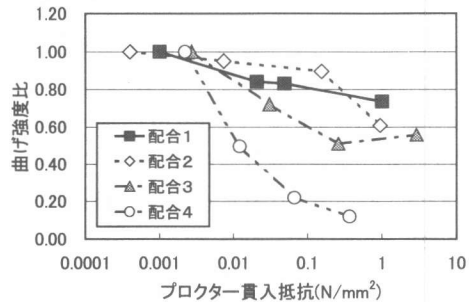


図-7 プロクター貫入抵抗値と曲げ強度比の関係

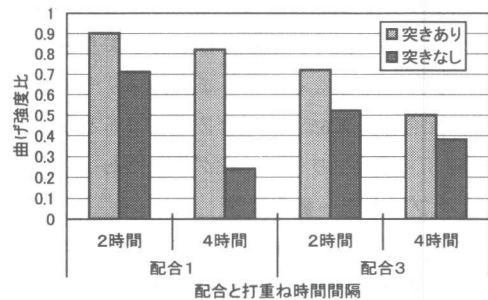


図-8 突き固めの有無と曲げ強度比

### 3.3.2 突き固めと曲げ強度

配合1と3について突き固めの有無と曲げ強度比の関係を図-8に示す。配合1の打重ね時間間隔4時間の場合を除いて突き固めをしないものは突き固めたものに比べ2割から3割の強度低下を示した。しかし、配合1で4時間の打重ね間隔のものは突き固めありの場合に比べ、突き固めなしでは約7割の強度低下を示した。またデータには出ていないが、載荷前の運搬時に自重で破壊した供試体もあった。このことから打重ね時間間隔が大きくなるほど普通コンクリートの突き固めの必要性は大きくなること、突き固めを行えば打重ね

時間間隔4時間でも2時間の場合とほぼ同じ曲げ強度比になることが示されたといえる。

突き固めによる強度増加の一因に上層と下層の間で材料が移動し、互いに混ざり合うことが挙げられる。そこで、この材料の移動に着目し、打重ね条件が、突き固めによる材料の移動に及ぼす影響を調べるために以下に示す実験を行った。

### 3.4 材料混合量による突き固め評価

本実験ではコンクリートを構成する材料のうちペーストや細骨材よりも移動の様子を追いやすい粗骨材に着目し、突き固めによって打重ね面を通じて材料がどれだけ移動しているかを検討した。

まず、あらかじめ着色した粗骨材を上層コンクリートに使用して、所定の打重ね条件でコンクリートを打設した。その数時間後に、完全に硬化する前のコンクリートから、図-9に示すように打重ね面の上下からそれぞれ2つずつ、合わせて4つの層（層1～層4）を各5cmの厚さで取り出した。そして、それぞれの層からふるいによって粗骨材のみを洗い出し、それぞれの層に含まれる粗骨材のうち着色されたものの重量割合を測定した。

打重ね条件は打重ね時間間隔を0時間、2時間、4時間の3水準、突き固め方法を突き棒による10回の突き固めと棒状パイブレッタによる15秒間の締め固めの2種類とした。また参考として、打重ね時間間隔2時間で上層を木づちで叩き充填させた、突き固めなしの条件でも実験を行った。なお、コンクリートの配合は配合1を使用した。

この実験の結果を図-10に示す。数字はそれぞれの層に含まれる粗骨材のうち、もともと上層のコンクリートに含まれていたものの重量割合(%)を示している。打重ね時間間隔が4時間、2時間のほうが打重ね時間間隔0のものに比べて打重ね面よりも下に移動する骨材の量が少なくなっているのがわかる。突き棒による突き固めでは時間間隔4時間のもののほうが2時間よりも層3、層4にやや多く粗骨材が移動しているが、これは実験者が必ずしも同じ力や速さで突くことができ

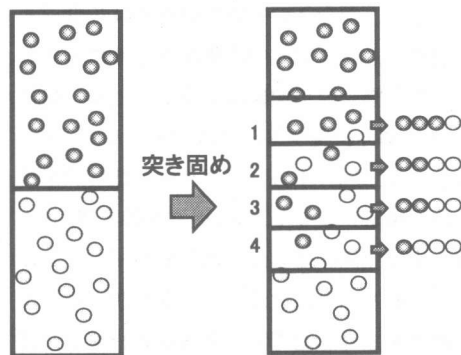
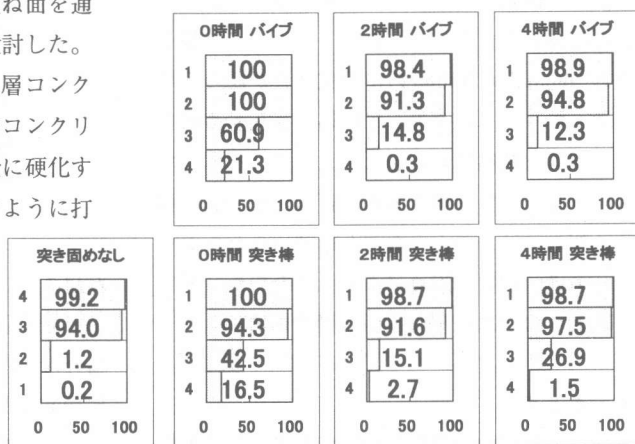


図-9 骨材混合量による突き固めの評価



数字はもともと上層にあった骨材の重量割合(%)

図-10 骨材混合量測定の結果

ないことによる誤差と考えられる。この結果、プロクター貫入抵抗で約0.5(N/mm<sup>2</sup>)である打重ね時間間隔4時間のコンクリートでも、突き固めによって2時間のもの（プロクター貫入抵抗は約0.01(N/mm<sup>2</sup>））とほぼ同等の材料の混合が起こることが示された。これにより、図-8に示したように突き固めによって4時間の場合の曲げ強度比が24%から82%に向上し、2時間の曲げ強度比(90%)とほぼ同程度になることが説明された。

### 3.5 促進中性化試験

配合1と配合2の促進材齢8週での測定結果を表-4に示す。C J部の中性化深さは、配合1では打重ね時間間隔6時間まで健全部とほぼ同じ中性化深さであったが、配合2では打重ね時間4時間で約18%増、6時間で約2倍の中性化深さにな

った。ただし、配合2の6時間のものは多少ジャンカが目立ち、健全部の中性化深さもやや大きかった。中性化割合の平均値は配合1で1.06、配合2で1.44であり、配合2のほうが大きくなった。

また配合3、配合4のコンクリートはコンクリート自体が緻密になっており、促進材齢8週でも、健全部の中性化深さは2mm以下であった。このため、CJ部との中性化深さの差を判断することは不可能であった。ただし、突き固めをせず、打重ね面が非常に平滑な配合4の場合はCJ面に沿って割れた供試体に対してフェノールフタレイン溶液を噴霧したところ、写真-2のように材齢4週でも20mmから30mmの中性化部分が認められた。よって、CJと交差して鉄筋が存在する場合には局部的な鉄筋腐食が起こりえることを示している。それに対して突き固めを行った配合3の供試体に関してはこのようなことは認められなかった。この違いが突き固めによるものなのか、配合的な原因なのかは今後の検討課題である。

#### 4. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見をまとめると以下ようになる。

(1) W/C55%でブリーディング率8.65%の普通コンクリートの打重ね部の曲げ強度比は、打重ね時間間隔2時間で約84%、6時間で約74%になり、W/C59%でブリーディング率13.10%の場合には、曲げ強度比が打重ね時間間隔2時間で約95%、6時間で約61%になった。ブリーディング量が多い方が、打重ね時間間隔の増加に伴う曲げ強度比の低下量が大きいことが示された。

(2) 石灰石微粉末を使用したブリーディング量0の高流動コンクリートの打重ね部の曲げ強度比は打重ね時間間隔2時間で約49%、4時間で約22%まで減少する場合があることが示された。

(3) 粗骨材の移動量によって突き固めの効果を評価したところ、下層コンクリートのプロクター貫入抵抗が約0.5(N/mm<sup>2</sup>)の時に打重ねたコンクリートでも、突き棒による10回の突き固めによって約0.01(N/mm<sup>2</sup>)の場合とほぼ同等の材料の混合

表-4 促進中性化試験の結果

促進材齢 8週	部位	打重ね時間間隔(時間)				平均値
		2	4	6	24	
配合1	中性化深さ (mm)	健全部	8.3	6.7	8.9	10.3
		CJ部	8.6	6.1	9.1	13.1
	中性化割合 (CJ部/健全部)	1.04	0.91	1.02	1.28	1.06
配合2	中性化深さ (mm)	健全部	9.4	7.1	13.9	10.1
		CJ部	8.6	8.4	27.9	16.6
	中性化割合 (CJ部/健全部)	0.91	1.18	2.01	1.65	1.44



写真-2 CJ面での中性化

が起こることが示された。これにより突き固めによって前者の場合の曲げ強度比が突き固めなしの場合の24%から、82%に向上し、後者の曲げ強度比(90%)とほぼ同程度になることが説明された。

(4) 健全部での中性化深さに対するCJ部での中性化深さの比の平均値は配合1で1.06、配合2で1.44であり、ブリーディング量の多い配合2のほうが約36%大きくなった。

#### 謝辞

本研究にあたり多大なご協力を頂いた東京大学生産技術研究所試作工場の皆様、実験を支えて頂いた千葉工業大学、芝浦工業大学の卒論生の皆様に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 例えば、芳賀孝成、十河茂幸、三浦律彦、新開千弘：配合および環境条件の違いがコンクリートのコールドジョイント発生に及ぼす影響について、大林組技術研究所報、No.27、1983
- 2) 藤井和俊、毛見虎雄、山本裕基子：高強度工流動コンクリートの打ち込み継続中における打継ぎ時間間隔の限度に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第513号、23-30、1998