

ブリーディング、突き固めがコールドジョイントの 強度特性に与える影響

Effect of Bleeding and Tamping on Strength of Cold Joint in Concrete

許 賢太郎*・魚 本 健 人**

Kentaro KYO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリートのコールドジョイント（以下 CJ と略称）に対する社会的な関心は高いが、既往の研究¹⁾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 CJ 面の強度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 CJ 面の強度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 CJ 面の強度特性に与える影響についても検討を行った。

また、強度特性と関連が強いと考えられる破面の形状を測定し、検討した。

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。

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次頁表 3 に、フレッ

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 ³), 比表面積 3080(cm ² /g) |
| 細骨材 | 富士川産川砂 |
| | 密度 2.63(g/cm ³), 吸水率 1.65(%) |
| 粗骨材 | 両神産砕石 |
| | 密度 2.70(g/cm ³), 吸水率 0.63(%) |
| 混和材 | 石灰石微粉末 |
| | 密度 2.70(g/cm ³), 比表面積 4080(cm ² /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 |

表 2 コンクリートのフレッシュ性状と圧縮強度

| | スランブ (cm) | スランブフロー (cm) | 空気量 (%) | 圧縮強度 (N/mm ²) |
|------|--------------|-----------------|------------|------------------------------|
| 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 |

表 3 使用したコンクリートの配合

| | W/C | s/a | 単位量(kg/m ³) | | | | AE 減水剤 (ml/m ³) |
|------|-----|-----|-------------------------|-----|-----|------|--------------------------------|
| | | | 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 | 単位量(kg/m ³) | | | | 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 |

シュ性状と材齢 4 週の圧縮強度を表 2 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ブにはあま

*東京大学生産技術研究所 物質・生命部門

**東京大学国際・産学共同研究センター

研 究 速 報

りこだわらない配合条件とした。配合1は水セメント比55%，スランプ12 cm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20 cm，スランプフロー33 cm程度，配合4はスランプフロー約62 cm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10 cm × 10 cm × 40 cmとした(図1)。本研究では型枠を縦方向に用い，下層20 cm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げ，上層20 cm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°C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5 cm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 A 1123)の規定によって試験を行

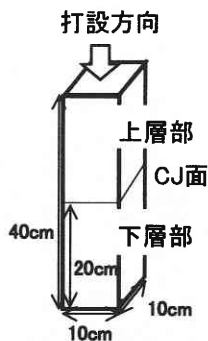


図1 供試体の形状

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 A 6204「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0.01 Nまで測定した。

2.6 曲げ強度試験

本研究ではCJ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く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 A 1106)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 破面形状の測定

破面の形状は図2に示すように，レーザー変位計をX-Y軸方向に移動させ，Z軸方向の変位をX，Y方向それぞれ1 mm間隔で測定した。三橋らの文献³⁾にならい，破面を細かい三角形の集合に近似することにより，得られた変位から破面の凹凸を考慮した面積である実破断面積を求めた。

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

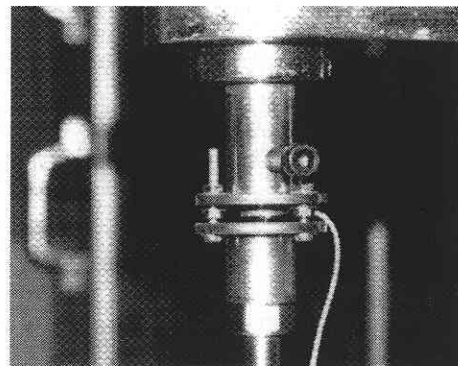


写真1 プロクター貫入試験装置に装着した小型ロードセル

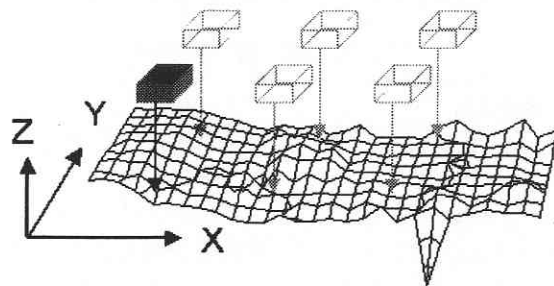


図2 破面の計測方法

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

3.3.1 ブリーディングと曲げ強度

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、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。

打重ね時間間隔と曲げ強度の比の関係を図5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CJ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²⁾はブリーディングがなく、乾燥が起こ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に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CJ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、CJ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6に示す。配合2では貫入抵抗値0.1(N/mm²)で約9割の曲

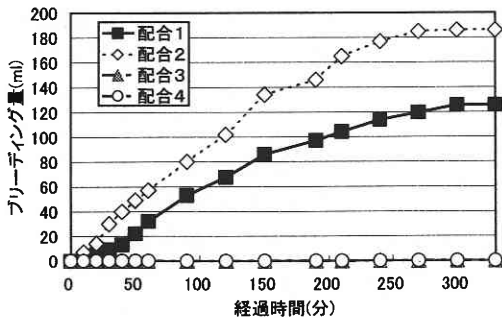


図3 ブリーディング試験の結果

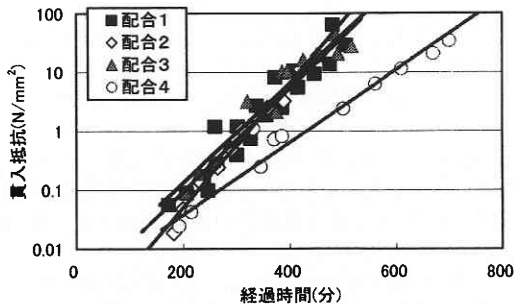


図4 プロクター貫入試験の結果

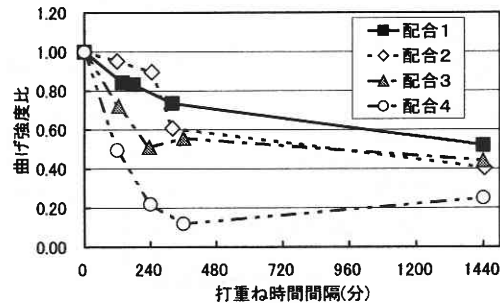


図5 打重ね時間間隔と曲げ強度比の関係

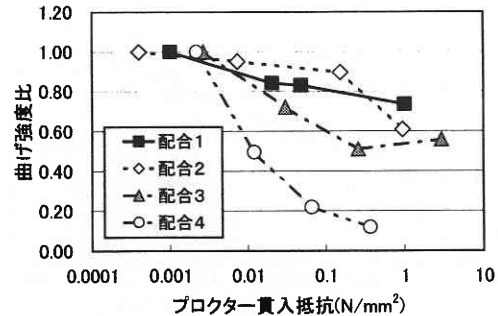


図6 プロクター貫入抵抗値と曲げ強度比の関係

研 究 速 報

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¹⁾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。

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 7 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。

次に破面計測によって得られた実破断面積と曲げ強度比の関係を図 8 に示す。この実破断面積は、仮に完全に平らな面で破断した場合には、供試体の断面積に等しい 10000 mm² となる。これを見ると、配合 1, 配合 3 ともに、ほぼ同じ線形の関係を示し、CJ 面をもたない一体打ちの場合を除くと、突き固めなしのものに比べて突き固めたものの実破断面積が増加し、それに伴い曲げ強度比が増加す

るという傾向が認められた。この原因としては、突き固めなしでは CJ 面に沿って平面状にレイタンスなどの弱点層が分布するため、それに沿って破面が形成され、破面の実破断面積が小さく、曲げ強度比が低下するが、突き固めをすることにより弱点部が分散されると破壊時の実破断面積が増加し、それに伴って曲げ強度比が向上するということが考えられる。しかし、一体打ちの健全な供試体と比較した場合には、断面積が大きくても低い曲げ強度比を示しており、本研究で行ったような突き固めでは弱点そのものを解決しているものではないと考えられる。

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のようになる。

- (1) W/C 55% 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/C 59% 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) CJ をもつコンクリートの曲げ強度比は破面の実破断面積と直線的な相関があり、突き固めを行うと破面の実破断面積が増加し、それに伴い曲げ強度比が増加することが示された。
- (4) ブリーディング率 0% の高強度コンクリートでは普通コンクリートに比べ、打重ね時間間隔の増加にともなう曲げ強度比の減少量は大きいですが、実破断面積と曲げ強度比の関係はほぼ同じであった。

(2000 年 7 月 10 日受理)

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
- 3) 三橋博三、梅岡俊治ら：セメント硬化体の破面解析に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文報告集 No. 445, 1993

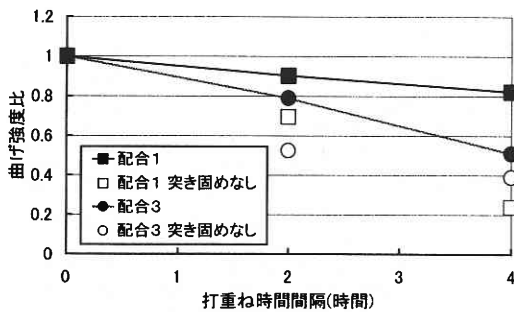


図 7 突き固めによる曲げ強度比への影響

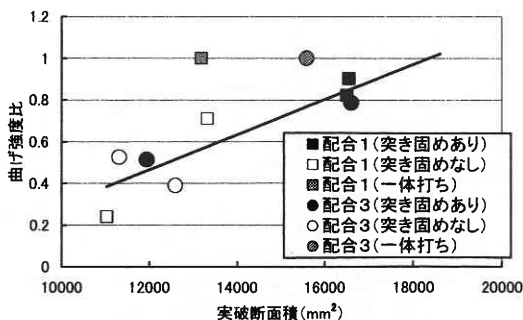


図 8 実破断面積と曲げ強度比の関係