

# 論文 高流動コンクリートの床仕上げ作業性に関する研究

本田 悟\*1・椎葉 大和\*2

要旨:本研究では気象条件や養生条件等が高流動コンクリートの床仕上げ作業性およびプラスチックひび割れの発生に及ぼす影響について検討した。その結果、床仕上げ作業性に関しては、作業の難易度、作業時間および仕上げ精度等は普通コンクリートと比べて遜色ないが、仕上げ作業時に散水による水分供給が必要であることが分かった。また、プラスチックひび割れに関しては、風もひび割れ発生を助長する要因となるが、ひび割れ発生防止には風を防ぐよりも散水等を行い表面を湿潤状態に保つことがより効果的であることが判明した。

キーワード:高流動コンクリート, 床仕上げ, プラスチックひび割れ, 暑中環境

## 1. はじめに

近年、高流動コンクリートの研究・開発が様々な研究機関や企業で活発に行われており、実構造物への適用事例も増加しつつある。しかしながら、高流動コンクリートは通常のコンクリートと比較して、水結合材比が小さく、粉体量が比較的多いために、ブリーディング量が著しく少なく、床仕上げ作業の困難さやプラスチックひび割れの発生を招く原因となっている。さらに、暑中環境下では外気温の上昇や日射量の増大等の環境条件に起因して、凝結の促進、コンクリート表面からの水分の散逸の増大による表面乾燥、引張限界ひずみの減少等[1], [2]により、床仕上げ作業の困難さやプラスチックひび割れの発生を助長するものと考えられる。

従って本研究では、気象条件や養生条件等が高流動コンクリートの床仕上げ作業性およびプラスチックひび割れの発生に及ぼす影響を普通コンクリートと対比しながら検討した。

## 2. 実験概要

暑中期(8月23日)と標準期(11月5日)に、福岡県北九州市に於いて、高流動コンクリートの床仕上げ作業性およびプラスチックひび割れに関する実験を実施した。

### 2.1 使用材料

使用材料は表-1に示す通りで、セメント、細骨材および粗骨材は生コン工場で通常使用されているものを用いた。また、混和材には高炉スラグ微粉末を、混和剤は高流動コンクリートには高性能AE減水剤およびAE助剤を、比較実験用の普通コンクリートにはAE減水剤およびAE助剤を使用した。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント, 比重:3.15
細骨材	混合砂(砕砂:海砂=6:4), 比重:2.57, F.M.:2.61
粗骨材	硬質砂岩系砕石, 比重:2.74, 実積率:57.9%
混和材	高炉スラグ微粉末, 比重:2.90, 比表面積:6000cm <sup>2</sup> /g
混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系) AE減水剤(遅延型, 標準型), AE助剤

表-2 コンクリートの調査

種類	時期	W/B (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					SP (%)	WR (%)	AE (%)
				W	C	Sg	S	G			
高流動	暑中標準	35	53.6	170	253	233	861	795	0.95 0.75	-	0.005 0.004
	普通標準	60	47.1 49.7	190 180	317 300	-	834 875	938	-	0.2	0.002 0

SP:高性能AE減水剤, WR:AE減水剤, AE:AE助剤 (B×wt%)

\*1 福岡大学助手 工学部建築学科 (正会員)

\*2 福岡大学教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)

## 2. 2 調合

コンクリートの調合は表-2に示す通りで、高流動コンクリートは高炉スラグ置換率を50%（容積比）、単位粗骨材かさ容積を $0.50\text{m}^3/\text{m}^3$ とし、スランプフロー55~70cm、空気量 $4.5 \pm 1\%$ となるよう高性能A E減水剤およびA E助剤を調整した。また、普通コンクリートは水セメント比60%とし、スランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1\%$ となるように試験練りにより決定した。

## 2. 3 練混ぜおよび運搬

高流動コンクリートの練混ぜには、生コンプラント保有の可傾式ミキサを用い、練混ぜ量は1バッチ $1\text{m}^3$ で2バッチの計 $2\text{m}^3$ 、練混ぜ時間は全材料投入後2分間とした。また、実験場所までの運搬にはトラックアジテータを使用した。

## 2. 4 試験体の形状

試験体は図-1に示す通りで、 $1700 \times 350 \times 150\text{mm}$ のスラブ状模擬試験体とし、配筋はD10@150mm、コンクリートのかぶり厚さは30mmとした。

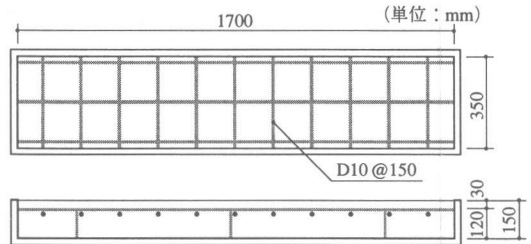


図-1 試験体の形状

## 2. 5 実験要因

実験要因は表-3に示す通りで、床仕上げ作業性に関する実験では、養生方法は打設後にも養生を行わない無養生、仕上げ作業時のみ散水を行う散水養生および表面が乾燥すると直ちに散水し、常に湿潤状態に保つ湿潤養生の3水準とした。プラスチックひび割れに関する実験では、養生方法は無養生、湿潤養生およびたん水養生の3水準とし、打設直後の仕上げは木ごてでならず程度で、以後の仕上げ作業は一切行わなかった。なお、湿潤養生およびたん水養生の開始時期は打設後1時間程度とし、12時間程度継続した。また、風の影響を検討するために、高さ1mのビニールシートで試験体の四方を囲み、風を遮蔽した状態でも実験を実施した。

表-3 実験要因

シリーズ	試験体番号	コンクリートの種類	養生方法	風の有無
床仕上げ作業性	A-1	普通	無	無
	A-2	高流動	無	
	A-3		散水	
	A-4		湿潤	
	A-5		無	有
	A-6	散水		
	A-7	湿潤		
プラスチックひび割れ	B-1	普通	無	無
	B-2	高流動	無	
	B-3		湿潤	
	B-4		たん水	
	B-5		無	有
	B-6	湿潤		

表-4 実験項目

## 2. 6 実験項目

実験項目は表-4に示す通りで、仕上げ作業は打設後より、暑中期では45分間隔、標準期では60分間隔を目安に行った。試験体の温度分布はB-1~6の試験体の表面から15mmまでは5mm間隔、90mmまでは15mm間隔の9点と試験体底面を合わせた計10点で計測した。また、圧縮強度試験用コア供試体はB-2~4、中性化試験用コア供試体はA-2~7およびB-2~6の試験体より採取した。

試験項目	試験方法
気象状況	気温、湿度、風速、日射量を5分間隔で24時間自動計測
フレッシュ性	練上り直後および荷卸し時に、スランプフロー、空気量、リング貫入 [3]、円筒貫入 [3] 試験を実施
凝結時間	ASTM C 403に準拠
床仕上げ作業性	左官工の感覚（こての滑り・放れ、肩・腕の疲労度等）および作業時間を測定
ひび割れ	平面：写真撮影後、トレース 断面：材齢7日でコア供試体（ $\phi 10\text{cm}$ ）を採取
試験体の温度分布	CC熱電対を用い、打設直後より5分間隔で24時間自動計測
圧縮強度	材齢7日でコア供試体（ $\phi 10\text{cm}$ ）を採取し、封かん養生後、材齢28日で実施
中性化	材齢7日でコア供試体（ $\phi 10\text{cm}$ ）を採取し、促進中性化試験（室温 $20^\circ\text{C}$ 、湿度60%、 $\text{CO}_2$ 濃度5%）を実施

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 気象状況およびフレッシュコンクリートの性状

暑中期の日中の最高気温は31.8℃(日平均26.7℃)、湿度は60%前後(日平均70%程度)であった。また、試験体上面での最大風速は4.9m/s、最大日射量は1267W/m<sup>2</sup>であった。標準期では日中の最高気温は26.8℃、湿度は30%程度で、風速および最大日射量は暑中期の1/2程度であった。

荷卸し時のスランプフローは暑中期で71.5×71.5cm、標準期で66.0×65.0cmと暑中期では目標値を上回ったが、暑中期および標準期ともリング沈下速度は2.0~2.6cm/s(推奨値:2.5cm/s以下[3])、沈下速度比は0.06~0.1、円筒流入モルタル値は30~37mm(推奨値:20~40mm[3])と間隙通過性および分離抵抗性は概ね良好であった。

#### 3. 2 凝結時間

凝結試験結果を図-2に示す。

暑中期では気温の上昇および日射量の増大に起因して水和が促進され、始発(500psi)は標準期に比べ1時間程度早くなっている。また、湿潤養生の場合は無養生の場合より始発時間は10~15分程度遅延している。風の有無による影響は、風がある場合は気化熱の影響でコンクリート温度が風を遮った場合より2~4℃程度低くなるため凝結は遅延し、始発時間は暑中期では10~20分程度、標準期では30~40分程度遅延している。

#### 3. 3 床仕上げ作業性

仕上げに要した合計作業時間を図-3に、作業終了時間を図-4に示す。

仕上げ作業性に関しては、高流動コンクリートでは無養生の場合(A-2, 5)は打設後1時間程度でコンクリート表面が乾燥し、仕上げ作業は困難であった。しかし、散水および湿潤養生の場合(A-3, 4, 6, 7)は普通コンクリートと比べても作業性は良好で、暑中期では打設後2時間、標準期では2時間30分程度から試験体上での作業が可能となった(プロクター値:20~40psi)。また、常に湿潤状態に保たなくても仕上げ作業の直前に散水(100~150g/m<sup>2</sup>)を行えば作業性は良好で、標準期では打設後早い時期に一度散水すればよかったが、暑中期では仕上げ作業の度に散水が必要であった[4]。コンクリート表面からの脱水量は気象条件により異なるが、打設後0~6時間程度では200~600g/m<sup>2</sup>・h程度[5]と考えられ、これ以上の過度の散水は耐久性の低下を招きかねないので、散水量には十分な配慮を要すると考えられる。また、風および試験時期が仕上げ作業性に及ぼす影響は明確には認められなかった。

仕上げに要した合計作業時間は高流動コンクリートは金ごてのみの作業となる[4]ため暑中期および標準期ともに仕上げ作業が困難であった無養生の場合を除くと普通コンクリートの2/3~1/2程度であった(図-3)。作業終了時間に関しては高流動コンクリートは普通コンクリートより標準期で30分程度、暑中期で1時間程度早かった。また、暑中期では標準期より凝結速度が早いために2時間程度早く作業を終了している(図-4)。なお、風による影響は明確には認められなかった。

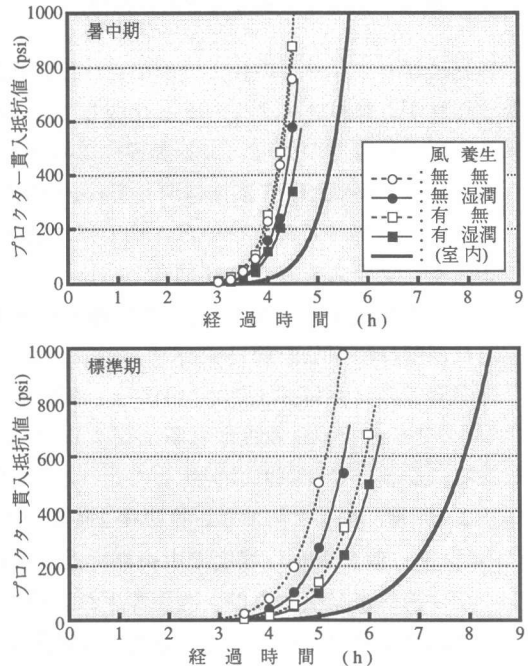


図-2 凝結試験結果

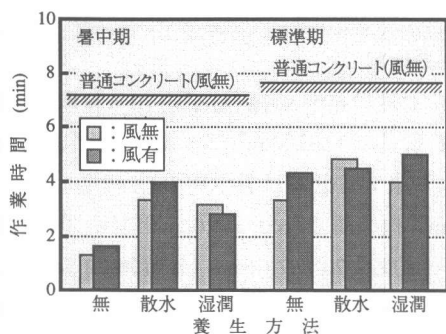


図-3 仕上げに要した合計作業時間

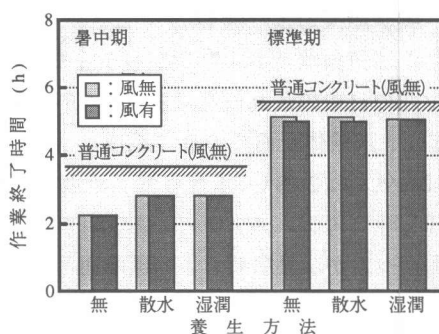


図-4 仕上げ作業終了時間

高流動コンクリートの仕上げ面の硬化後の状態は無養生の場合を除き、仕上げむら等は一切見受けられず、普通コンクリートと比較しても遜色なく、仕上げ面の状態は平滑であった。また、風および試験時期の相違による影響は認められなかった。

以上より、床仕上げ作業性に関しては、作業の難易度、作業時間および仕上げ精度等は普通コンクリートと比べて遜色ないが、仕上げ作業時には散水による水分供給が必要と思われる。

### 3.4 プラスチックひび割れ

暑中期での試験体B-5（風有，無養生）に発生したひび割れの形状を図-5に示す。

暑中期での試験体B-5では、打設後1時間45分（プロクター値：5psi）程度から風上側よりいずれも鉄筋に沿ってひび割れは発生した。一方、試験体B-2（風無，無養生）では、打設後2時間45分（プロクター値：120psi）程度で中央部付近の鉄筋上にひび割れが発生したが、湿潤養生およびたん水養生を行った試験体（試験体B-3, 4, 6）ではひび割れは発生しなかった。また、標準期においては試験体B-5のみ打設後1時間30分（プロクター値1psi）程度で中央部付近の鉄筋上にひび割れが発生した。

ひび割れの形状に関しては、暑中期での試験体B-5ではひび割れ幅は最大0.8mm程度で、深さは最大140mm程度とスラブ底面近くまで達していた。一方、試験体B-2では、最大ひび割れ幅は0.2mm程度、深さは50mm程度とひび割れ幅および深さとも試験体B-5より小さく、暑中期においても風を防ぐことによりプラスチックひび割れはある程度低減可能である。また、標準期での試験体B-5では最大ひび割れ幅は0.6mm程度、深さは40mm程度と、ひび割れ幅および深さとも暑中期より小さく、風と同様に暑中環境はプラスチックひび割れの発生を助長する大きな要因であると考えられる。

### 3.5 試験体内部の温度履歴

試験体内部温度の打設後24時間の経時変化を図-6に、打設後6時間の経時変化を図-7に、打設後6時間までの試験体内部の温度分布を図-8に示す。

暑中期においては、普通コンクリート（試験体B-1：風無，無養生）は打設後7時間程度で極大値（表層部33℃，下層部42℃）を示した。一方、同一環境条件での高流動コンクリート（試験体B-2：風無，無養生）では打設後8時間程度で極大値を示し、その際の試験体温度は表層部で33℃、下層部で40℃と水和反応は若干遅延し、水和熱も低減している（図-6）。

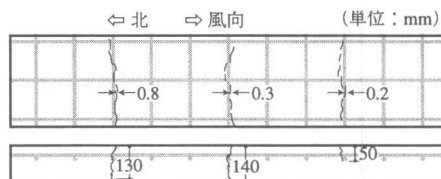


図-5 ひび割れの形状（暑中期：試験体B-5）

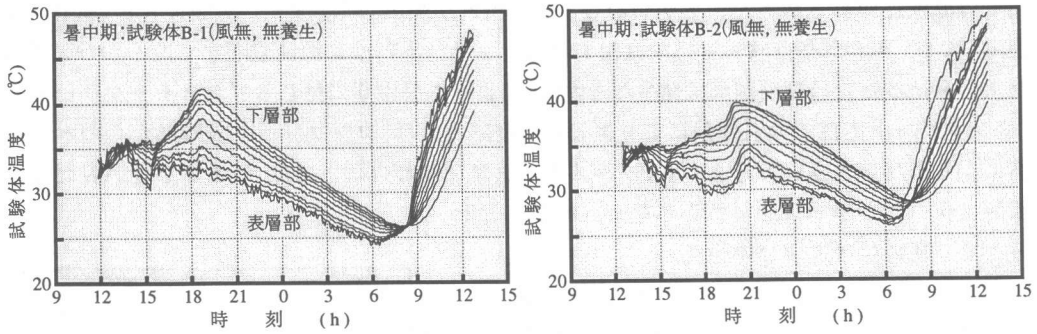


図-6 試験体内部温度の経時変化

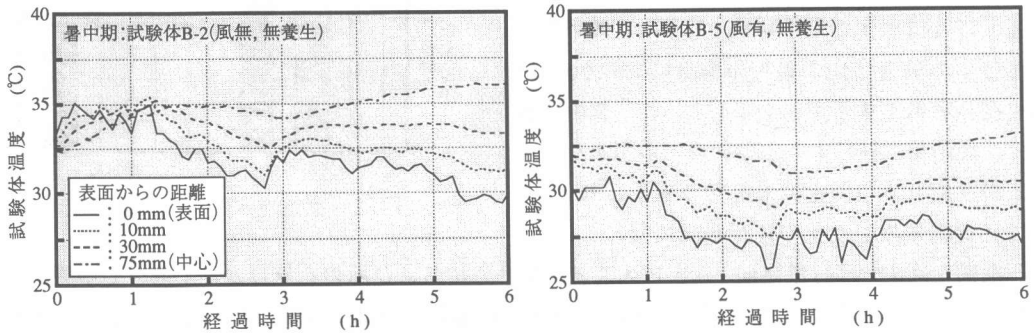


図-7 試験体内部温度の経時変化

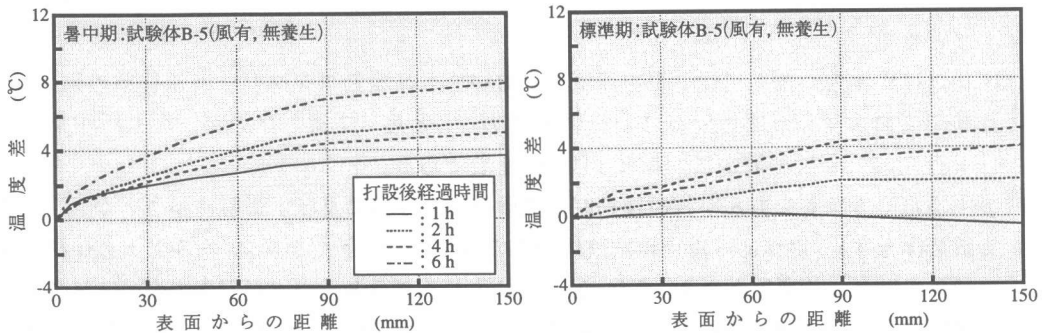


図-8 試験体内部の温度分布

暑中期においては、風を遮った試験体B-2（風無，無養生）は打設直後では表層部ほど試験体温度は高くなっている。一方、風を受けた試験体B-5（風有，無養生）では気化熱の影響で、打設直後より表層部ほど温度は低くなっており、打設直後での表層部と中心部の温度差は経過時間に従い拡大している（図-7, 8）。しかし、標準期においては、打設後1時間程度までは試験体内部にほとんど温度差は生じておらず、以降は表層部ほど試験体温度は低くなっているものの、試験体表層部と中心部の温度差は暑中期ほど大きくない（図-8）。また、養生方法の相違が試験体内部の温度履歴に及ぼす影響は認められなかった。

以上のように、暑中環境下では打設後初期の試験体温度分布は風の影響を大きく受け、風がある場合は試験体表層部と中心部の温度差は打設直後より大きくなり、コンクリート内部に生じる温度差により試験体表層部には引張応力が生じ、プラスチックひび割れの発生を助長する要因となる。しかしながら、本実験では試験体B-2（風無，無養生）は風の影響を受けず、表層部と中

心部での温度差が小さかったにもかかわらずひび割れが発生した。また、試験体B-6（風有，湿潤養生）では、風の影響を受け、打設直後よりコンクリート内部に温度差が生じたものの、蒸発した水分を補ったためひび割れは発生しなかった。よって暑中期に生じるプラスチックひび割れは、コンクリート内部での温度差により生じる温度応力より、コンクリート表層部からの水分の散逸による影響が大きいと考えられ、プラスチックひび割れの防止には、散水等を行い表面を湿潤状態に保つことが効果的であると考えられる。

### 3. 6 圧縮強度および中性化

養生方法とコア圧縮強度の関係を図-9に示す。

標準期では湿潤養生の場合は他の養生に比べ圧縮強度は若干大きいものの、全般に養生方法が圧縮強度に及ぼす影響は小さい。しかし、暑中期では無養生の場合は他の養生の場合に比べ20～25%程度強度低下を示している。よって、暑中環境下では湿潤養生等により水和初期での脱水を防ぐことが強度低下の防止にも有効と考えられる。

コア供試体の中性化の進行状況に関しては、中性化期間4ヶ月では打設時期、仕上げの有無、養生方法および風の有無にかかわらず、中性化の進行は僅かであった。これは水結合材比が35%と低水結合材比であるためと考えられ、低水結合材比のコンクリートであれば、環境条件が中性化の進行に及ぼす影響は小さいと考えられる。

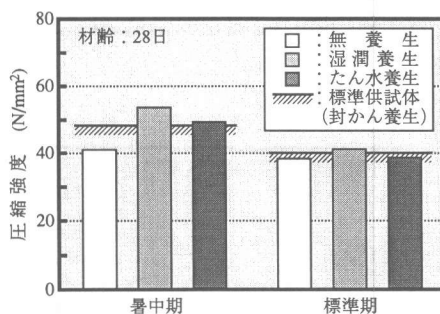


図-9 養生方法とコア圧縮強度

### 4. まとめ

- (1) 床仕上げ作業性に関しては、暑中環境下においても高流動コンクリートは作業の難易度、作業時間および仕上げ精度等は普通コンクリートと比べて遜色ないが、仕上げ作業時に100～150g/m<sup>2</sup>程度の散水による水分供給が必要である。
- (2) 暑中環境下では養生方法が打設後初期の試験体温度分布に及ぼす影響は小さいが、風による影響は大きく、風がある場合は試験体内部の温度差が大きくなり、プラスチックひび割れの発生を助長する要因となる。また、暑中期に生じるプラスチックひび割れは、コンクリート表層部からの水分の散逸による影響が大きいと考えられ、プラスチックひび割れの発生防止には散水等を行い表面を湿潤状態に保つことが効果的である。
- (3) 高流動コンクリートはブリーディング量が著しく少ないため、暑中環境下では水和初期での脱水を防ぐことが強度低下防止の面からも重要と考えられ、散水等による湿潤養生が有効であると考えられる。

### 参考文献

- [1] 日本建築学会：暑中コンクリートの施工指針（案）・同解説，1992
- [2] 西・松藤・小山：練り混ぜ24時間までのモルタルの収縮率及び引張り限界ひずみの測定，日本建築学会九州支部研究報告，第35号・1，pp37～40，1995
- [3] 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針（案）・同解説，1997
- [4] 椎葉・本田：暑中環境下における高流動コンクリートを用いた床スラブの諸性状に関する研究（その1. 床仕上げ作業性），日本建築学会大会学術講演梗概集A-1，pp487～488，1995
- [5] 山野・松藤・大久保・小山・西：暑中環境下で打設されるモルタル供試体の温度分布（直達日射の影響），日本建築学会大会学術講演梗概集A，pp901～902，1993