

論文 高流動コンクリートのコンクリート製品への適用

山口昇三*¹・牧 保峯*¹・三浦晃稔*²・荻須雅夫*²

要旨：普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの品質と、コンクリート製品の製造条件を検討した。高性能AE減水剤は凝結遅延性が極めて小さいという特性を有するポリカルボン酸系のものを用いた。標準養生および蒸気養生を行った高流動コンクリートの乾燥収縮、中性化深さの値は小さく、凍結融解に対する抵抗性も良好な結果であった。充填性と材料分離抵抗性を損なわず、美しい製品肌面が得られた高流動コンクリートの打設方法は、ゴム製開閉装置付きバケットと特定剥離剤を使用して無振動で打設する方法であった。長期間製品を製造し、品質管理を行った。
 キーワード：高流動コンクリート、コンクリート製品、耐久性、肌面、品質管理、充填性

1. はじめに

コンクリート製品は、部材厚が薄く、配筋が密であるために、コンクリートを強力に振動締固めして成型されている。そのため工場内および周辺で振動機による、騒音や振動が問題となる場合がある。近年開発された高流動コンクリート [1] をコンクリート製品へ適用することは、振動機の騒音、振動等による作業環境の改善、製造の合理化、さらに省力化の面からも有効である。

本報では、高流動コンクリートに用いた高性能AE減水剤の特性を把握し、高流動コンクリートを製品工場における養生条件下において養生した硬化コンクリートの耐久性（乾燥収縮、中性化および凍結融解に対する抵抗性）について検討した。また、充填性、分離抵抗性や製品の肌面等の観点から、高流動コンクリートの無振動での打設条件等を定め、長期間にわたって各種のコンクリート製品を製造した。高流動コンクリートの製造時において留意した点と品質管理の結果を報告をする。

2. 実験の概要

2. 1 使用材料

表-1 に使用材料を示す。各材料は製品工場で常時使用しているものを用いた。高炉スラグ微粉末のブレン値は4000cm²/gである。剥離剤は表-2 に示す油性および水性のものを使用した。剥離剤Bには皮膜変性界面活性剤が配合されている。剥離剤はスプレーにより型枠に塗布した。高性能AE減水剤は、末端スルホン基を有するポリカルボン酸基含有多元ポリマー [2] を主成分とするものであり、その分子構造を図-1 に示す。JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」および住宅・都市整備公団「高強度コンクリート用高性能AE減水剤の性能判定基準」で定められた高性能AE減水剤の品質規格による性能試験結果を表-3 に示

表-1 使用材料

使用材料	比重	F.M.
普通ポルトランドセメント C	3.16	—
高炉スラグ微粉末 S _g	2.89	—
木曾川産砂 S	2.55	2.87
木曾川産砂利25mm G	2.62	6.70
高性能AE減水剤 Ad	1.07	—

表-2 剥離剤

記号	タイプ
A	鉱物油系
B	鉱物油系 (皮膜変性界面活性剤配合)
C	水性エマルジョン系

* 1 竹本油脂 (株) 第三事業部 (正会員)

* 2 昭和コンクリート工業 (株)

す。本高性能AE減水剤の凝結遅延性が極めて小さいのは、ポリマー中のメタクリル酸のモル濃度を低くし、グラフト鎖の分子量を大きくしたことにより、遅延性分の一種であるカルボキシル基の含有量が小さい分子設計としたためである。

2.2 コンクリートの製造と養生

表-4にコンクリートの配合を示す。高流動コンクリートの目標フロー値は 67 ± 5 cm、目標空気量は $2 \pm 1.0\%$ とした。使用したミキサは実際に工場で用いているもので、公称容量 1 m^3 の強制2軸ミキサである。コンクリートの練混ぜは、モルタルを1分間練り混ぜた後、コンクリートを2分間練り混ぜて排出した。コンクリート製品の脱型は打設の翌日以降とし、10月~5月は脱型時の圧縮強度($15 \sim 20 \text{ N/mm}^2$)を得るために蒸気養生を行ったが、6月~9月には促進養生を行わなかった。

2.3 製品肌面および粗骨材の分布

製品肌面の仕上りの評価は、普通コンクリートの製品肌面を参考に目視観察で行い、評価基準を表-5に示す。評価基準のランク3は振動締固めを行った普通コンクリートと同等の肌面であり、気泡面積率が0.2%程度である。ランク5は、肌面に気泡や色むら等がなく、補修の必要がない肌面とした。製品内部の粗骨材の分布状況を調べるために、図-2の破線で示す位置で製品を切断し、粗骨材をトレーシング紙に写し、断面における粗骨材が占める面積を求め、粗骨材面積率とした。

3. 打設方法の検討

3.1 対象製品

高流動コンクリートを用いて打設方法を検討するための対象製品は、図-2に示すボックスカルバートを用いた。頂版、底版および壁の厚さは全て150mmで、主鉄筋がD6, D10, D13の組み合わせで内外ダブル配筋の125mmピッチとした。配力鉄筋はD6の内外ダブル配筋で300mmピッチで、かぶりは芯かぶりで最小25mmとした。型枠は鋼製で、コンクリートの打設方向は横打ちとし、打設方法を表-6に示す。

3.2 打設条件の製品肌面への影響

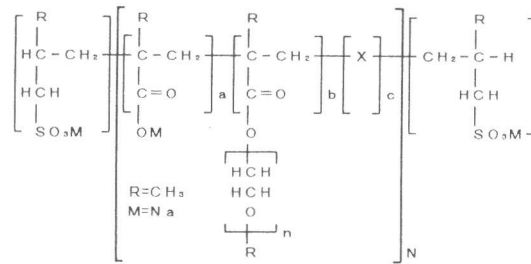


図-1. 高性能AE減水剤の分子構造

表-3 高性能AE減水剤の性能評価試験結果

項目	JIS A 6204		住都公団
	8cm	18cm	
減水率 %	18	18	—
ブリーディング量の比%	28	29	19
凝結時間の差 min	始発	+15	+10
	終結	+10	+10
圧縮強度比 %	材齢 3日	153	154
	材齢 7日	139	140
	材齢 28日	129	130
長さ変化比 %	97	96	98
凍結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数 %)	—	97	101
経時変化量	スランプ cm	—	2.8
	空気量 %	—	-0.5

表-4 コンクリートの配合

W/P (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
		C	Sg	W	S	G	Ad
35	52	350	150	175	864	820	6.0

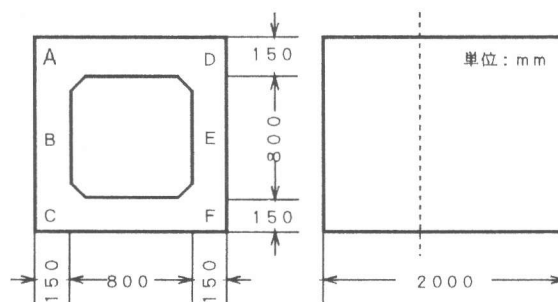


図-2 ボックスカルバートの形状

製品の製造は、同一の打設条件において3～10回程度行い、得られた肌面を観察して、打設条件による製品の肌面への影響を評価した。高流動コンクリートを打設した条件を、表-6に示す。コンクリートの充填方法として、内部振動および外部振動の強さ（遠心力の強さ、出力、周波数等）を変えた場合と、ボイドの巻き込み防止や、将来的には工場を自動化することを考慮したポンプ圧送および無振動について検討した。その結果、コンクリートの投入速度および投入箇所が適切ならば無振動の方がむしろ美しい肌面が得られることが判明した。一方、振動機等を用いた場合には、かえってコンクリートの分離を誘発したり、気泡を表面へ誘導する結果となった。内部振動機を用いた場合、振動の伝達距離と強さが肌面に影響し、振動が強く伝わる範囲では、ペースト分の分離が原因と見られる色むらや振動機の跡が残った。特に帯状振動機の場合、振動の伝達距離が小さく、振動を受ける箇所は強い振動を受けるために振動機の跡が顕著に残った。外部振動機を用いた場合、製品の肌面に気泡が多く現れ、振動の強さの影響はな

表-5 製品肌面の評価基準

ランク	評価基準	気泡面積率
5	肌面に気泡や色むらがなく、美しい肌面である	
4	肌面にやや気泡はあるが、補修の必要はない	0.05%程度
3	普通コンクリートと同じ程度の肌面である	0.2%程度
2	肌面に気泡が目立ち、部分的に未充填がある	
1	肌面に気泡、ジャンカや未充填がかなりある	

気泡面積率：製品の表面積に対する気泡断面の占める面積百分率
ランクの中間に位置する肌面は3.5、4.5等で表示した。

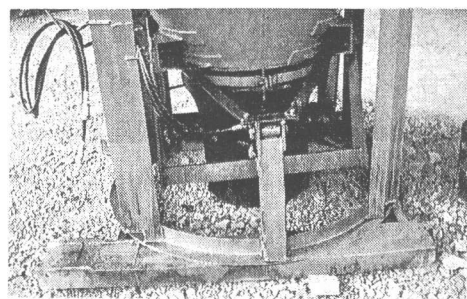


写真-1 ゴム製開閉装置

表-6 打設条件の製品肌面への影響

打設条件		製品肌面のランク	製品肌面の概略	
使用器具	打設方法			
内部振動	棒状丸型	間隔 20～70 cm 時間 30～90 秒	3.0～3.5	大小の気泡が目立ち、色むらがみられた 剥離剤による差は小さい
	帯状	間隔 5～70 cm 時間 30～90 秒	3.0～3.5	全体的に気泡が少ない ハイフレーター跡が残る。剥離剤による差はない
外部振動	高周波型 枠取付式	遠心力 (大～小) 1～2個/型枠	2.5～4.5	長時間の振動で骨材が沈降した 微少な気泡が多い。剥離剤による差は小さい
	高周波型 枠取付式	出力 300～750W 周波数 100～250Hz	3.0～3.5	全体的に小さな気泡が多く、色むらが多い 剥離剤による差は小さい
	打撃	10～60回/分	2.5～3.0	大きな気泡が少ない
	大型クッション	型枠を揺らしながら打設	2.5～3.0	気泡が大きく、数も多い 剥離剤による差は小さい
ポンプ圧送	ポンプ車	配管の取付個所 ：側面	3.0～4.0	肌面は良。型枠と鉄筋の抵抗で注入困難
		配管の取付個所 ：底面	3.0～4.0	充填性良好 肌面は良
無振動	シート、網、鉄板	型枠面に沿い投入しながら抜く	3.5～4.5	気泡が少なく、色むらも少ない 工数がかかり、側面全体に対応が困難
	無振動	極薄ビニール、ステンレスプラスチック板等を型枠面に貼付	3.5～4.5	貼付した材質の表面状態（凹凸や模様）が製品肌面に写る。 気泡の数や大きさは貼付しない面と差がない
	無振動	型枠を傾けてコンクリートを打設	2.5～3.5	傾斜面の上面；気泡が多い
	無振動		4.0～5.0	傾斜面の下面；肌面は良好
無振動	投入箇所、速度を変化させて打設		4.0～5.0	ゴム製開閉装置を取付けたバケットを用いて打設し、剥離剤Bを使用した時肌面が美麗になった

かった。内部振動機より振動の伝達距離が大きい外部振動機は、型枠面の振動により型枠とコンクリートと空気の接触面で空気を巻き込んだり、コンクリート内部の気泡を型枠面に引きつけるためであると考えられた。ポンプ圧送による打設は、比較的美麗な肌面が得られる反面、粗骨材が分離し、且つ充填性が悪い結果であった。型枠への配管の取り付け位置や角度がコンクリートの流れに影響を強く及ぼし、特に配管を型枠側面に取り付けた場合、圧送管から排出したコンクリートが、型枠側板に当たり急激に流動方向が変えられたために、骨材の分離が促進され、充填性が損なわれた。無振動打設の場合、コンクリートの投入速度や投入箇所が充填性に影響した。最も良好な肌面と充填性を示したのは、ゴム製開閉装置（写真-1）を付けたバケットと剥離剤Bの組み合わせにより無振動で打設した方法である。ゴム製開閉装置はペーストの分離の防止、および投入速度や投入箇所を調節するために有効であった。シートおよび鉄板をコンクリート投入に合わせて型枠面に沿って引き上げた場合には、良好な肌面が得られる反面、作業の手間が増大し、側面全体への対応が困難であるために、実用的ではないと考えられた。極薄ビニール、ステンレス板、塗装鉄板を型枠内面に貼付し、型枠表面の性状を変化させた場合は、貼付した材質の表面状態（凹凸、模様）がそのまま製品肌面に写し出され、平滑な貼付材により成型された製品は、表面が密で平滑な面が得られた。しかし、表面の気泡の数や大きさについては、貼付材の材質に影響せず、貼付しない場合と差がなかった。

3. 3 製品内部の粗骨材分布

無振動により製造した製品の断面各位置における粗骨材分布状況（図-3）は、流動距離によって差異はほとんどなくほぼ同等であり、高流動コンクリートは鉄筋の周辺でもよく充填していることが観察された。

4. コンクリート製品の製造

4. 1 製品の製造

実機プラントにおいて製造工程の安定が可能であるかを検討した。コンクリートの打設方法は、剥離剤Bおよびゴム製開閉装置の付いたバケットの組み合わせにより無振動で行った。製造した製品は、ボックスカルバート（内幅600~3000mm, 内高600~2500mm, 長さ1000~2000mm）の他に、L型擁壁（高さ1000~3000mm, 長さ1000~2000mm）、箱型擁壁（高さ500~1000mm, 幅1500~2000mm）およびL型付き可変側溝（幅300~700mm, 高さ300~1700mm, 長さ2000mm）等種々の寸法、形状の製品である。

4. 2 フロー管理

本研究の同一配合条件下では、高流動コン

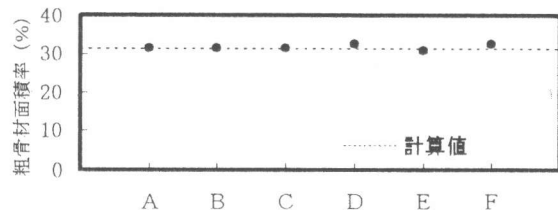


図-3 各断面の粗骨材面積率

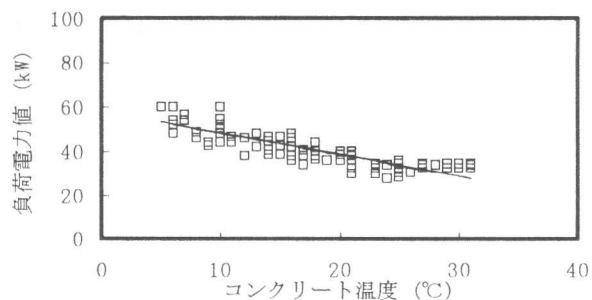


図-4 コンクリート温度と負荷電力値

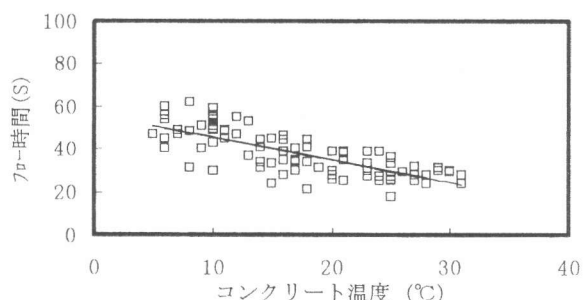


図-5 コンクリート温度とフロー時間

クリートのフロー調整を練混ぜ時のミキサ負荷電力値で行った。目標フロー値を得るためには、コンクリート温度に応じて、負荷電力値を調整する必要があった(図-4)。本研究のスランプフロー値の測定範囲において、目標フロー値を得るためのミキサの負荷電力値は、(1)式で与えられる温度の関数として表された。コンクリートの粘性の指標となるスランプのフロー時間は、コンクリート温度の影響を受けて(2)式で表される関係が得られた(図-5)。このことはコンクリートの流動性は温度の影響を受けるという報告[3,4]と一致した。

$$(\text{負荷電力値 kW}) = -0.96 \times (\text{温度 } ^\circ\text{C}) + 58 \quad (\text{相関係数}=-0.85) \quad (1)$$

$$(\text{フロー時間 S}) = -1.07 \times (\text{温度 } ^\circ\text{C}) + 56 \quad (\text{相関係数}=-0.75) \quad (2)$$

4.3 製品の肌面

製品肌面の仕上がりについては、安定して良好な肌面が得られた(図-6)。目標フロー値の範囲内では、フロー値やフロー時間と肌面の評価との間に相関関係はなかった。なお、肌面の評価については、表-5の評価基準により熟練者が行ったが、日常業務では気泡面積率を測定しなかったため、経日とともに評価者の目が美しい肌面に慣らされ、結果的に評価が辛くなった。従って、フロー値やフロー時間と肌面の評価との間に相関が認められなかった一因として、評価基準の変動により、肌面の管理図の後半において低い評価点が現れたことが考えられる。

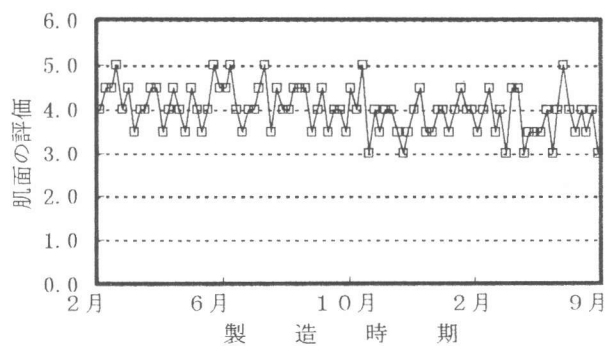


図-6 製造時期と肌面の評価

5 硬化コンクリートの性質

5.1 圧縮強度

高流動コンクリートの圧縮強度試験結果を図-7に示す。材齢14日の圧縮強度は、製品と同じ養生方法であり、蒸気養生をした場合としない場合を区別しないで図に示した。材齢14日では設計基準強度(30N/mm²)を上回り、標準養生を行った材齢28日の圧縮強度は60N/mm²以上の高い強度が得られた。

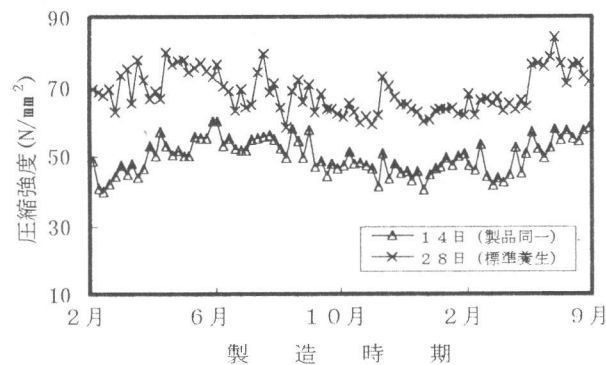


図-7 製造時期と圧縮強度

5.2 耐久性

高流動コンクリートの凍結融解に対する抵抗性試験(JIS A 6204付属書2)結果を図-8に、乾燥収縮試験(JIS A 1129)結果を図-9に、促進中性化試験(20°C, CO₂濃度5%)結果を図-10に示す。凍結融解に対する抵抗性は

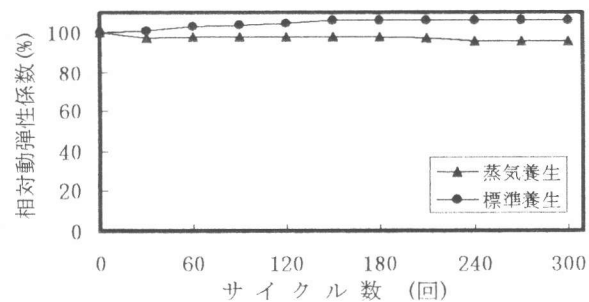


図-8 凍結融解に対する抵抗性試験結果

いずれの養生方法においても相対動弾性係数の低下がほとんどなく良好であった。乾燥収縮は、 $5\sim 6 \times 10^{-4}$ の値であり、蒸気養生を行った方がやや小さい値となった。中性化深さはいずれの養生方法においても極めて小さい値であった。

6. まとめ

普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末およびポリカルボン酸系高性能AE減水剤を用いた高流動コンクリートで長期間にわたりコンクリート製品を製造した。高流動コンクリートの品質や製造方法を検討した結果、次のような結論を得た。

(1) 充填性と製品の肌面は、打設条件により大きく影響を受けた。最も良好な充填性と肌面が得られた打設方法は、ゴム製開閉装置付きバケットと剥離剤Bとの組み合わせで、高流動コンクリートを無振動で打設する方法であり、コンクリートの分離現象は見られなかった。

(2) ゴム製開閉装置付きバケットと剥離剤Bの組み合わせで、高流動コンクリートを用いたコンクリート製品を長期間実機で製造した結果、製品は、安定して肌面が美しく高品質の製品であった。

(3) 高流動コンクリートに用いたポリカルボン酸系高性能AE減水剤は凝結遅延性が極めて小さく、標準養生および製品同一養生において、材齢14日で設計基準強度を十分満足した。

(4) 高流動コンクリートの硬化後の耐久性は、乾燥収縮、中性化および凍結融解に対する抵抗性において良好な結果であった。

謝辞

本論文の作成にあたり、ご指導いただいた秩父小野田(株)名和豊春氏に謝意を表します。

参考文献

- [1] 小沢一雅, 前川宏一, 岡村 甫: ハイパフォーマンスコンクリートの開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 699-704, 1989
- [2] 木之下光男, 山口昇三, 山本常夫, 友澤史紀: 新型高性能AE減水剤の構造と特性, セメント・コンクリート論文集, No. 44, pp. 222-227, 1990
- [3] 名和豊春, 大久保正弘, 江口 仁: 高性能減水剤を添加したモルタルおよびセメントペーストの流動性に及ぼす温度の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 45, pp. 110-115, 1991
- [4] 下野敏秀, 米澤敏夫, 三井健郎, 小島正朗, 木之下光男; 超高強度コンクリート用高性能減水剤の開発, 日本建築学会大会梗概集A, pp. 81-82, 1994

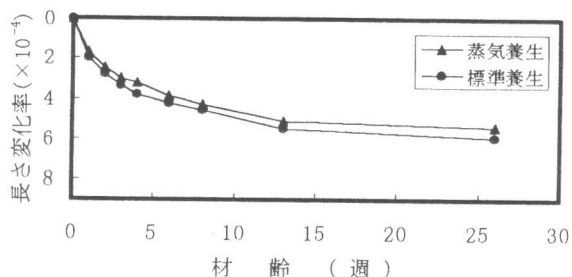


図-9 乾燥収縮試験結果

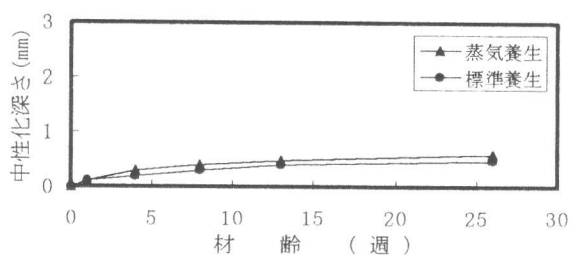


図-10 促進中性化試験結果