

論文 コンクリートのスランプ回復に関する実験研究

月 岡 存 *

要旨：練混ぜ開始後、時間が経過しスランプの低下したレディーミクストコンクリートを想定して、ベースコンクリートに流動化剤または水を添加して再練混ぜをすることによりスランプを回復させた。これらのコンクリートのスランプの経時変化、凝結時間および圧縮強度などについて検討をした。その結果、流動化剤添加、加水ともに練混ぜ開始後 120分までの時期のスランプ回復であれば問題が少なく、それ以上の時間の場合でもスランプ回復の可能性のあることを示した。

キーワード：フレッシュコンクリート、流動化剤、加水、凝結時間、圧縮強度

1. はじめに

コンクリートは、練混ぜ後、時間が経過するとワーカビリティなどの性状が変化する。そのために、JIS A 5308ではレディーミクストコンクリートの練混ぜを開始してから荷卸しまでの時間、また、土木学会のコンクリート標準示方書ではコンクリートを練混ぜてから打終るまでの時間の原則を規定している。ところが、レディーミクストコンクリートの運搬途中の交通渋滞等による現場到着の遅れや、工事現場における作業の都合により、これらの規定された時間を超過することが考えられる。この場合、超過時間が長くなるとコンクリートの打込みや締固めがスランプの減少等により難しくなる。そこで本研究は、練混ぜ後、長時間経過してスランプの低下したコンクリートに、流動化剤または水を添加することによりスランプ回復を行った場合のコンクリートの性質について実験的に検討したものである。コンクリートに流動化剤を添加する時期については、土木学会の施工指針 [1]ではベースコンクリートの練混ぜを開始してから1.5 時間以内としている。また、コンクリートへの加水については、ドイツなど認めていない国とフランスなど条件付で認めている国があるが、わが国では規定がない[2]。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントはC社製の普通ポルトランドセメントを用いたが、その試験成績は比重3.16、凝結の始発時間 140分、同じく終結時間 305分であった。細骨材は 三重県雲出川流域産の砂で比重 2.58、粗粒率 2.91のもの、粗骨材は同じく雲出川流域産の砂利で比重 2.66、最大寸法 20 mm、粗粒率 6.89 のものをそれぞれ使用した。混和剤は AE減水剤（標準形で主成分は有機酸系誘導体、JIS A 6204に適合）と流動化剤（後添加用で主成分はアルキルアリルスルホン酸塩高縮合物、土木学会基準に適合）を使用した。

2. 2 実験方法

(1) コンクリートの配合と練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、可傾式のミキサ（容量 100 ℓ）を使用して実験室内で行った。ミ

* 三重大学助教授 生物資源学部生物資源学科農業土木学大講座、農博（正会員）

表-1 コンクリートの配合

コンクリートの種類と条件(練混ぜ後の添加時期)	記号	スランブの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a(%)	単 位 量 (kg/m ³)						
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	A E減水剤	流動化剤	
標準配合(ベース)	BA	12 ± 1.5	4 ± 1	5 5.0	4 3	174	316	761	1040	0.790	—	
流動化剤 添加	120分後	F-120	9 ± 1.5	—	5 5.0	4 3	174	316	761	1040	0.790	1.48
	165分後	F-165	9 ± 1.5	—	5 5.0	4 3	174	316	761	1040	0.790	2.47
	200分後	F-200	9 ± 1.5	—	5 5.0	4 3	174	316	761	1040	0.790	4.15
加水	120分後	W-120	9 ± 1.5	—	5 8.5	4 3	183	313	753	1029	0.783	—
	165分後	W-165	9 ± 1.5	—	6 0.5	4 3	188	311	748	1022	0.778	—
	200分後	W-200	9 ± 1.5	—	6 6.2	4 3	202	305	735	1005	0.763	—

キサにはドラムの回転速度を調節できる変速機が取り付けられており、まず、ベースコンクリート (BA:スランブ 12 ± 1.5cm) を高速 (60回転/min) で約3分間練混ぜた。練混ぜ後直ちに、トラックアジテータを想定して、水分の蒸発を防ぐためにミキサの投入口に蓋をし、低速 (6回転/min) でミキサを回転させた。練混ぜ開始から所定の時間経過後に低速回転中のミキサを止め、ミキサ内部のスランブの低下したコンクリートに流動化剤または水 (水道水) を適量添加して、高速で約2分間再練混ぜを行ない、スランブを回復させた。再練混ぜ直後のスランブは、コンクリートの品質と施工性を考慮して、ベースコンクリートの下限値を上回ることなく、かつ、ベースコンクリートのスランブに近い 9 ± 1.5 cm とした。この間のコンクリートの温度は、すべて 20~23℃ の範囲であった。なお、流動化剤または水の添加時期は、土木学会のコンクリート標準示方書に規定されている、練混ぜてから打終えるまで時間の限度である120分 (外気温 25℃ 以下のとき) と、使用したセメントの凝結の終結時間にほぼ等しい 200分およびその間の 165分の3種類とした。ベースコンクリートおよび計算により求めた流動化剤または水添加後のコンクリートの配合を表-1に示す。ここで、A E減水剤の使用量 (セメント質量の 0.25%) はすべて製造メーカー推奨の標準量であり、流動化剤の使用量は F-200の配合のコンクリートで流動化コンクリートにおける標準使用量 (この場合 セメント質量の 0.6%) の約2倍であった。

(2) コンクリートの試験

フレッシュコンクリートの試験として、スランブならびに空気量 (JIS A 1128) の経時変化の測定、ブリーディングおよび凝結時間試験 (JIS A 6204) をベースコンクリートまたは再練混ぜ後のコンクリートについて実施した。また、硬化コンクリートについては、標準養生供試体 (φ10 × 20 cm) の圧縮強度試験を材齢 5、28、91日で行った。

3. 実験結果および考察

3.1 ベースコンクリートの性状

図-1は、低速回転中のミキサを一時止め、試料を採取して測定したベースコンクリートの練混ぜ開始後のスランブの経時変化を示したものである。スランブは時間とともに低下し、練混ぜ直後に12.5cmであったスランブが、再練混ぜ時間である120、165、200分経過後には、それぞれ 5.5、3.5、2.5cm に低下しており、コンシステンシーの変化が大である。

図-2は、同じく、ベースコンクリートの空気量の経時変化を示したものである。空気量は

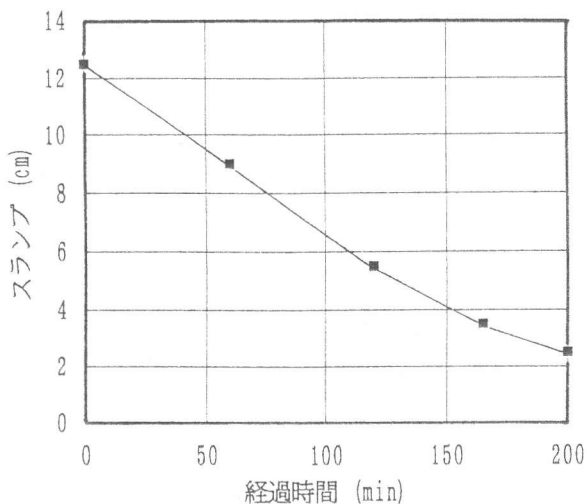


図-1 スランプの経時変化 (BA)

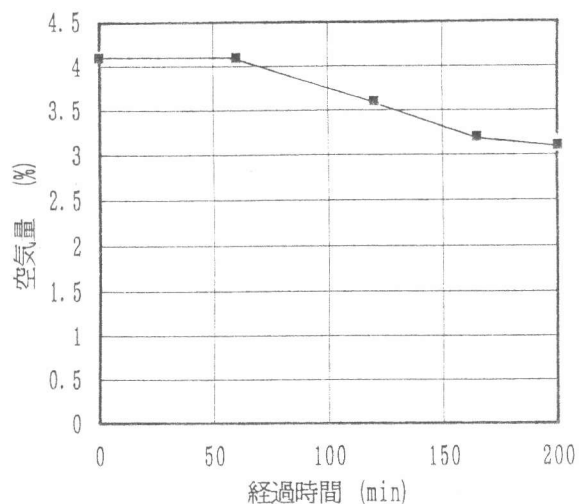


図-2 空気量の経時変化 (BA)

練混ぜ開始後 60分を過ぎると減少を始め、165分以上経過すると練混ぜ直後のコンクリートより1%程度減少した。この空気量の減少(1%)は、レディーミクストコンクリートで一般に行われている容積の割増し量(1m³当り10 l)に相当する大きさである。

図-3は、練混ぜ開始後、時間の経過したコンクリート(低速回転中)の試料採取時刻の違いによるブリーディング率の大きさについての試験結果を示す。練混ぜ直後のコンクリートと比較して、最終ブリーディング率が90分後に採取のものは約4割、165分後のものは約1割と極めて小さくなる。なお、ブリーディングが終了するまでの時間は、練混ぜ後時間が経過して採取したコンクリートの方が短い、練混ぜ開始時刻を基準としたブリーディングの終了する時刻は、試料の採取時刻の違いによる差が少ない。

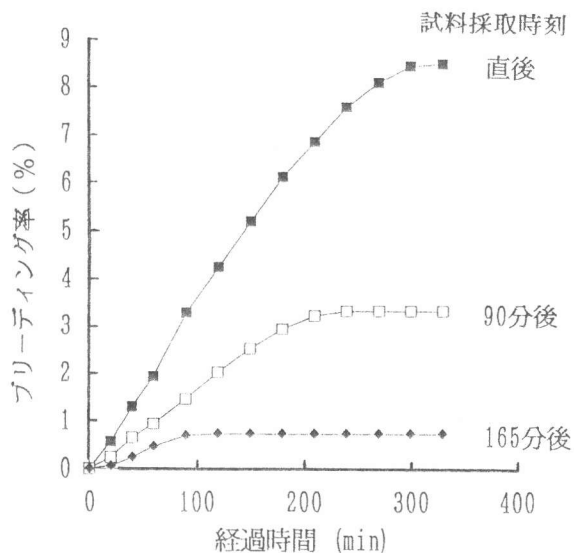


図-3 ブリーディング試験の結果 (BA)

3. 2 スランプ回復したコンクリートの特性

(1) フレッシュコンクリートの性状

図-4 (a) (b)は、再練混ぜ後のコンクリートのスランプの経時変化を示したものである。ここでのスランプの値は、再練混ぜを終了したコンクリートを金属製の練箱に入れ、表面を厚手のビニールシートで覆い、所定の時刻にスコップで練り直してから測定したものである。図-4 (a)より、コンクリートに流動化剤を添加する時期の遅れるほどスランプの低下が大きいことがわかる。たとえば、再練混ぜ後 40分で、F-120 はスランプの低下が 3 cmであるのに対して F-200 では 6 cmの低下である。コンクリートの荷卸しから打込み終了までの時間を、前記の JIS A 5308と示方書に規定された時間の差に相当する 30分と仮定し、さらに図-1 のベースコンクリートの練混ぜ後 120分(示方書の打終える限度)経過時のスランプ値である 5.5

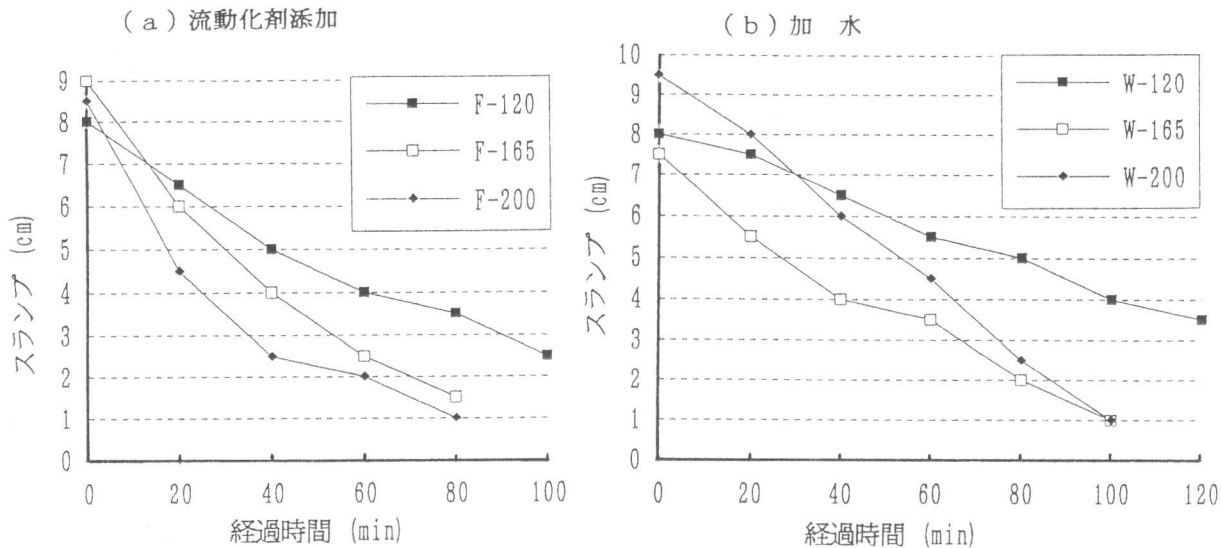


図-4 コンクリートのスランプの経時変化

cmを基準とすると、F-120のコンクリートは基準以上でF-200は基準以下である。次に、図-4 (b) より、コンクリートに水を添加した場合、加水する時期の遅れるほどスランプの低下が大きいのは流動化剤の添加と同じであるが、スランプの低下する割合が流動化剤の場合より小さい。前記と同じ基準でみると、W-120とW-165はスランプ 5.5cm以上の基準を満たしている。なお、再練混ぜ直後のコンクリートは、流動化剤添加ならびに加水に関係なくすべて、ベースコンクリートと同様にプラスチックでワーカブルな性状を示していた。

表-2 に再練混ぜ後のコンクリートの空気量の測定結果を示した。スランプ回復直後の空気量は、ベースコンクリートの練混ぜ直後の空気量よりいずれも小さいが、再練混ぜ直前の空気量と同じか少し増加している。また、流動化剤を添加したコンクリートのほうが加水したコンクリートよりやや小さい。さらに、添加後、時間が経過すると空気量がいずれも減少し、その減少割合は添加時期の遅いほど大きいようである。コンクリートの空気量は、とくに、気象作用に対する耐久性が要求されるときには重要である。これに関しては、再練混ぜ後のコンクリートの空気量を増加させるためには、流動化剤または水の添加時に AE 剤（空気量調整剤）を同時添加すると効果があることを筆者は別の実験で確認している。

次に、スランプ回復したコンクリートのブリーディングは、図-3 から予想されるように、流動化剤添加の場合はもちろん加水後のコンクリートでも非常に少なく、最終のブリーディング率は、W-165 のコンクリートで 1.0%、W-165 のコンクリートでは 0.7%であった。したがって、スランプ回復をしたコンクリートを使用する場合は、打込み後、初期におけるコンクリート表面の乾燥に注意をしなければならないことなどが考えられる。

(2) コンクリートの凝結時間

図-5 は、凝結時間試験における貫入抵抗と経過時間（コンクリートの練混ぜ開始時刻を 0min とする）の関係を示したものである。流動化剤を添加し

表-2 空気量の測定結果 (%)

コンクリートの種類	経過時間 (添加後: 分)		
	0	45	60
F-120	3.3	—	3.0
F-165	3.1	—	2.6
F-200	3.2	2.3	—
W-120	3.5	—	3.3
W-165	3.6	—	2.8
W-200	3.7	—	2.5

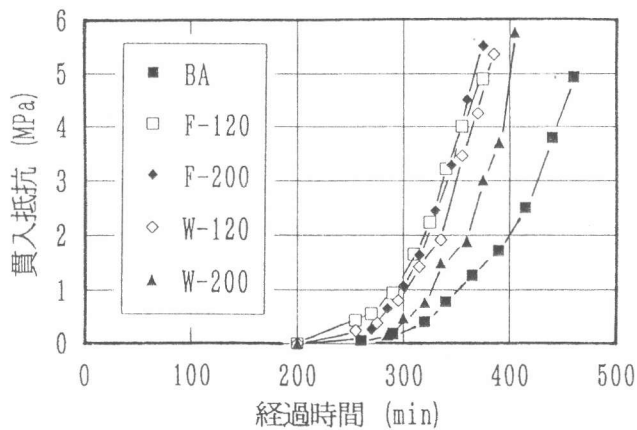


図-5 コンクリートの凝結時間

たコンクリートは加水したコンクリートより凝結が早く、また、これらの再練混ぜしたコンクリートは、いずれも、ベースコンクリートより凝結が早く、始発（貫入抵抗 3.43 MPa）時間で比較すると55分（F-120）～100分（W-200）ベースコンクリートより短い。このように、スランプ回復したにもかかわらず再練混ぜコンクリートの凝結が早くなるのは、おもに、セメントの水和反応がミキサの低速回転により促進されるためではないかと考えられる。このことから、再練混ぜしたコンクリートの打込みに際してはコールドジョイントの発生にとくに注意をしなければならないといえる。

(3) コンクリートの圧縮強度

図-6 (a) (b)は、ベースコンクリートから採取して作製した供試体の材齢28日の圧縮強度を1とした場合の、再練混ぜをしたコンクリートで作製した供試体の圧縮強度比を示したものである。全体的に、流動化剤または水の添加時期の早いほど圧縮強度比が大きい傾向がみられる。図-6 (a)より、流動化剤を添加したコンクリートは、いずれも、材齢の増加とともに圧縮強度も大きくなり、また、材齢 28日の圧縮強度比も1.0を越えている。一方、図-6 (b)より、水を加えてスランプ回復を行ったコンクリートの圧縮強度は、加水の時期によりその傾向が異なるようである。W-120 は材齢28日の圧縮強度比は1.0 をわずかに下回るが、材齢とともに強度比が増加している。これに対して、W-165 は材齢28日の強度比はほぼ1.0 であるが、その後の強度の増加が小さい。また、W-200 は圧縮の強度比も小さいし、材齢28日以後の強度の増加も期待できない。なお、流動化剤を添加したコンクリートや加水により水セメント比が大きくなったコンクリートの材齢28日の圧縮強度比が1 近くまたはそれ以上の値を示したのは、おもに、再練混ぜしたコンクリートはベースコンクリートよりブリーディングと空気量が少ないことが影響しているものと考えられる。スランプ回復後のコンクリートの空気量が、前記の

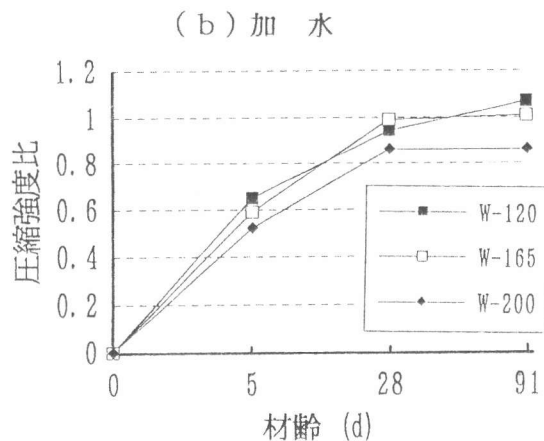
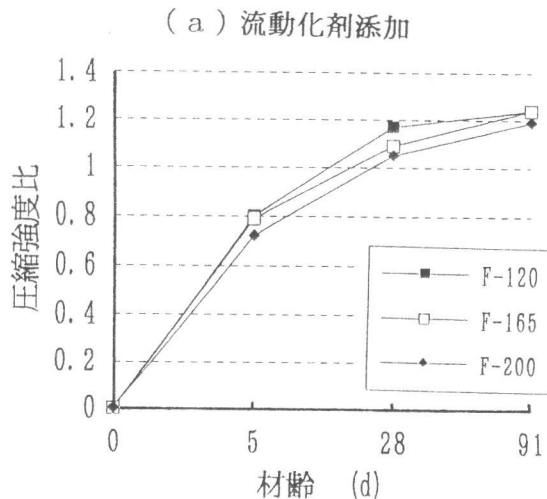


図-6 コンクリートの圧縮強度比
(BAの材齢28日強度を1とする)

ように、ベースコンクリートより最大1%程度小さい(一般的に、圧縮強度で約5%増)ことを考慮しても、流動化剤添加の場合は圧縮強度の点で問題はないものと思われるが、加水の場合は、練混ぜ開始後120分までが無難ではないかと思われる。

4. まとめ

練混ぜ後、120分～200分の時間経過によりスランプの低下したコンクリート(温度:20～23℃)に、流動化剤または水を添加して再練混ぜをすることによりコンクリートのスランプ回復を行った。これらのコンクリートのスランプと空気量の変化、凝結時間および圧縮強度特性についての実験結果をまとめると次のようである。

- (1) 再練混ぜしたコンクリートのスランプは、再練混ぜ時間の遅いものほど、また、加水の場合より流動化剤添加の場合のほうが短時間に減少した。
- (2) 再練混ぜしたコンクリートの空気量は、ベースコンクリートの空気量より小さく、流動化剤添加と加水では流動化剤添加の場合のほうが小さかった。
- (3) 再練混ぜしたコンクリートの凝結時間は、加水の場合でもベースコンクリートより短く、流動化剤添加の場合はさらに短かった。
- (4) 流動化剤によりスランプ回復したコンクリートの圧縮強度は、ベースコンクリートの圧縮強度と同等かそれ以上であった。また、加水の場合は、圧縮強度は加水時期に大きく影響された。

以上の結果から、本実験の範囲内では、練混ぜ開始後120分経過までのコンクリートであれば、流動化剤添加または加水によりスランプ回復をしても問題は比較的少なく、場合によっては150分程度まで経過したコンクリートでもスランプ回復してもよい可能性があるのではないかと考えられる。

5. あとがき

本研究では、スランプ回復をしたコンクリートの硬化後の性質としては圧縮強度試験による検討のみである。したがって、とくに、加水したコンクリートではコンクリート中の単位水量が増加しているため乾燥収縮特性に関する試験が必要であり、また、コンクリートの空気量と関係が深い凍結融解に対する耐久性などについての検討も必要であろうと思われる。さらに、本実験と異なる配合のコンクリートの場合やフレッシュコンクリートの性状が温度により大きく影響されるため[3]、これらの条件が違えばスランプ回復が可能な時期が異なることが予想される。

謝辞:本研究の一部は、平成7年度文部省科学研究費補助金(一般研究C、課題番号07660319)を受けて行ったものである。

参考文献

- [1]土木学会:流動化コンクリート施工指針(改訂版)、コンクリート・ライブラリー74、pp.105-106、1993
- [2]武山 信:レディーミクストコンクリート技術の現状と将来展望、土木学会論文集、No.490、pp.7-10、1994.5
- [3]月岡 存:フレッシュコンクリートの性状変化に及ぼす温度の影響、三重大学生物資源学部紀要、第15号、pp.19-25、1995.12