

論文

[1010] 普通強度フローイングコンクリートの調合・流動性・強度・収縮に関する実験研究

正会員 笠井芳夫 (日本大学 建築工学科)

正会員○平石信也 (山宗化学 技術部)

正会員 飛内圭之 (三菱マテリアル セメント事業本部)

長田浩治 (山陽国策パルプ 東松山コンクリート技術研究所)

1. はじめに

建築に用いられる軟練りコンクリートの歴史は古く、スランブ 24cm のコンクリートを用いた歴史的経緯がある。軟練りコンクリートは、流動性が高く、締固めが容易で、柱・梁の仕口など複雑な部分に流し込みやすく、す・豆板等が生じにくい。近年、良質骨材の枯渇と、コンクリートの耐久性向上のため、1986年改定の JASS 5 においては、スランブ 18cm 以下、単位水量 185kg/m³ 以下とするように定められた。その結果、コンクリートの打込・締固めに多くの労力を必要とするようになった。加うるに建設作業者の不足を背景として、最近、締固め不要コンクリートの報告がある [1]。このコンクリートは、微粉末結合材の量を多くして高性能減水剤などを添加し、単位水量が少なく、充填性や流動性を高めている。しかし、温度ひびわれや、収縮・耐久性など長期における品質の安定性および経済性については、ほとんど明らかにされていない。

本研究は、軽微な締固めを必要とし、建築に用いる普通強度 (F_c=180kgf/cm²~240kgf/cm²) の軟練りコンクリートを対象として、特殊混和剤を用いることにより1986年改定の JASS 5 の品質目標値を達成し、打込・締固めの労力を少なくしたフローイングコンクリートについて、調合・流動性・強度・収縮を主題として、実験研究を行ったものである。

2. 実験計画

2. 1 使用材料

実験に使用したセメント・混和材料を表-1に、使用骨材を表-2に示す。混和剤は、表-1に示すように特殊水溶性高分子を複合した分離抵抗性が高い特殊混和剤を使用した。

2. 2 試験項目および方法

コンクリートは、容量100ℓの強制ミキサを用い、1バッチ60ℓを練り混ぜた。練り混ぜ時間は、モルタルで30秒、その後粗骨材を投入し90秒間とした。試験項目は、フレッシュ

コンクリートについては流動性、空気量、練り上がり温度およびブリージングとした。硬化コンクリートについては、圧縮強度、透気係数および長さ変化とした。流動性の評価試験は、これまでの報告を参考とし [2]、次に示す4項目について実施した。

表-1 使用セメント・混和材料

材 料	種 類 ・ 性 質
セメント	普通ポルトランドセメント (比表面積3270cm ² /g、比重3.16)
混 和 材	高炉スラグ微粉末 (比表面積4050cm ² /g、比重2.92) 石灰石粉(比表面積3140cm ² /g、比重 2.72) 膨張材 (比表面積2550cm ² /g、比重2.92、CSA系)
混 和 剤	A E 剤 (天然樹脂酸系) A E 減水剤 (リグニンスルホン酸系標準形) 特殊混和剤 A (ナフタレン系と特殊水溶性高分子) 特殊混和剤 B (ポリカルボン酸系と特殊水溶性高分子)

表-2 使用骨材

骨 材	種 類	最 大 寸 法	絶 乾 比 重	吸 水 率 %	粗 粒 率	実 積 率 %
細骨材	大井川水系川砂	2.5mm	2.58	1.70	2.76	67.7
	奥多摩産硬質砂岩砕石	2.5mm	2.56	1.48	2.85	63.6
粗骨材	天竜川水系川砂利	20mm	2.61	1.10	6.60	65.0
	奥多摩産硬質砂岩砕石	20mm	2.62	0.59	6.75	60.7
	奥多摩産硬質砂岩砕石	13mm	2.62	0.66	6.13	59.1

- (1) スランプ試験：JIS A 1101に準じた。
- (2) スランプフロー試験：水中不分離性コンクリート・マニュアルに準じた [3]。
- (3) ボックス試験：図-1に示すボックス試験装置を用いて行った。15×15cm 高さ40cmの部分にコンクリート試料を詰め、仕切り板を引き上げ（開口高さ7.5cm）、ボックス高さの差を測定した。
- (4) フローテーブル試験：図-2に示すフローテーブル（ASTM C 124）を用い、直径67cm・高さ2cmの円形枠を作り、スランプ試験後にハンドルをまわして12.5mmの上下動を1秒間に1回の割合で与え、コンクリートの広がり方が初めて円形枠に到達した回数、広がり方が円形枠の1/2周に接した回数および円形枠の全周に接した回数を測定した。

硬化コンクリートに関しては、圧縮強度は JIS A 1108 に準じ、透気係数は材令28日まで封かん養生した上部φ140mm 下部φ150mm、高さ150mmの円すい台供試体の側面にゴム膜シールをあて、鉄製円すい台形の内枠に押し込んで装着しφ150mm側より5kgf/cm²の空気圧を加えて試験した [4]。長さ変化は JIS A 1129 に準じた。

2.3 実験の内容

(1) 予備実験

混和剤は、図-3に示す予備実験結果より特殊混和剤を選定した。特殊混和剤添加コンクリートは、高性能AE減水剤添加コンクリートに比しスランプフローが大きくなくてもボックス高さの差は大きくならない。

コンクリートの調合は、1957年改定の JASS 5 標準調合表を参考として定めた [5]。特殊混和剤を用いたフローイングコンクリートは、予備実験の結果所要スランプ24~26cm、スランプフロー50~60cm、ボックス高さの差8cm以下とした。ボックス高さの差8cm以下としたのは、ボックス試験後に5~6回の棒突き操作を行いその充填状態から判断した。単位水量は骨材の種類にかかわらず185kg/m³（一定）とし、かつ所要の流動性が得られるように細骨材率および混和剤量を定めた。

(2) 本実験

本実験は4シリーズに分けて行った。コンクリートの調合を表-3に示す。シリーズ1は、川砂・川砂利を用い、AE剤およびAE減水剤を用いた軟練りコンクリートとの比較を行った。また高炉スラグ微粉末および膨張材の影響についても実験した。

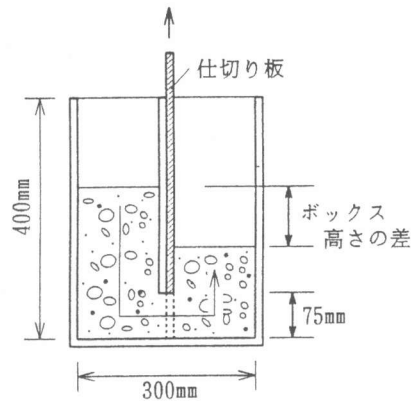


図-1 ボックス試験装置の概要
(アクリル樹脂製)

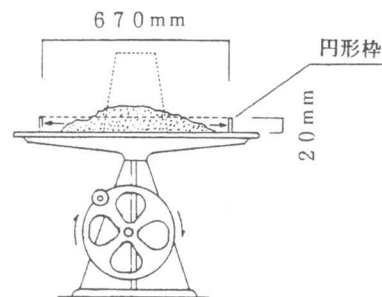


図-2 フローテーブル
試験装置の概要

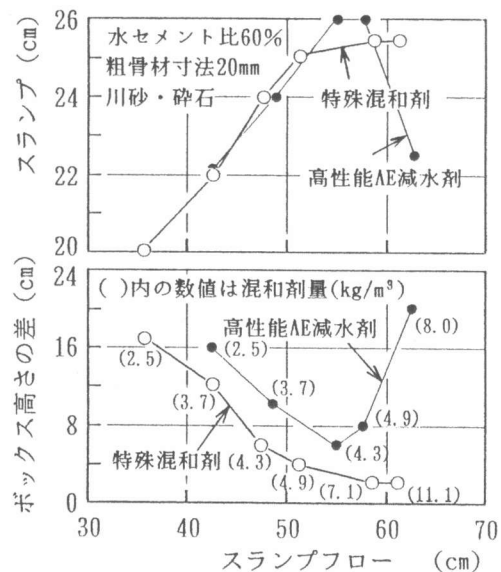


図-3 予備実験結果
(スランプフローとスランプおよび
ボックス高さの差との関係)

シリーズ2は、川砂・砕石を用い、粗骨材最大寸法および石灰石粉の影響について実験した。
 シリーズ3は、川砂・砕石を用い、水セメント比の影響について実験した。
 シリーズ4は、川砂に砕砂を30%および50%内割したコンクリートの性状について実験した。

表-3 コンクリートの調合

シリーズ番号	実験番号	骨材の種類		粗骨材最大寸法 mm	目 標 スランブ cm	水セメント比 %	細骨材率 %	単 位 量 kg/m ³				混 和 剤 ²⁾	
		細骨材	粗骨材					水	セメント	細骨材	粗骨材		混和材
1	1-1	川砂	川砂利	20	18	60	43.8	185	308	778	1006	-	A E 剤 0.11
	1-2	川砂	川砂利	20	24	60	49.3	192	320	862	892	-	A E 減水剤 3.46
	1-3	川砂	川砂利	20	24	60	50.1	185	308	891	892	-	混和剤 A 4.62
	1-4	川砂	川砂利	20	24	60	50.1	185	308	891	892	-	混和剤 B 1.85
	1-5	川砂	川砂利	20	24	60	49.9	185	216	883	892	92(スラグ)	混和剤 A 4.62
	1-6	川砂	川砂利	20	24	60	49.9	185	191	880	892	92(スラグ)25(膨張剤)	混和剤 A 4.62
2	2-1	川砂	砕石	20	18	60	48.4	185	308	859	924	-	A E 剤 0.07
	2-2	川砂	砕石	20	24	60	55.0	185	308	977	805	-	混和剤 A 4.93
	2-3	川砂	砕石	20	24	60	55.0	185	308	977	805	-	混和剤 B 2.00
	2-4	川砂	砕石	13	21	60	55.0	185	308	977	805	-	混和剤 A 6.16
	2-5	川砂	砕石	13	24	60	53.4	200	333	917	805	-	混和剤 A 5.33
	2-6	川砂	砕石	20	24	60	55.0	185	308	880	805	101(石灰石粉)	混和剤 A 4.93
	2-7	川砂	砕石	20	24	60	55.0	185	308	880	805	101(石灰石粉)	混和剤 B 2.00
3	3-1	川砂	砕石	20	24	60	55.0	185	308	977	805	-	混和剤 B 1.85
	3-2	川砂	砕石	20	24	50	53.6	185	370	925	805	-	混和剤 B 1.85
	3-3	川砂	砕石	20	24	40	51.5	185	462	849	805	-	混和剤 B 2.08
4	4-1	砕砂(30%)	砕石	20	24	60	55.9	185	308	990	789	-	混和剤 A 5.00
	4-2	砕砂(30%)	砕石	20	24	60	55.9	185	308	990	789	-	混和剤 B 2.00
	4-3	砕砂(50%)	砕石	20	24	60	56.5	185	308	1000	779	-	混和剤 A 5.24
	4-4	砕砂(50%)	砕石	20	24	60	56.5	185	308	1000	779	-	混和剤 B 2.16

注)1 表中の砕砂(30%)および砕砂(50%)は、川砂に砕砂をそれぞれ30%および50%内割したものである。

注)2 混和剤 A, B は特殊混和剤。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-4に示す。

表-4 実験結果

シリーズ番号	実験番号	フレッシュコンクリートの性状							硬化コンクリートの性状					
		スランブ cm	スランブ フロー cm	ボックス高さの差 cm	流動性の評価	フローテーブル振動回数			空気量 %	ブリージング量 ml/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²			
						初達	半周	全周			1日	3日	7日	28日
1	1-1	22.0	42 x 41	14.0	×	12	17	22	4.2	0.20	-	-	183	273
	1-2	24.5	49 x 49	10.0	△	9	-	30	4.6	0.23	-	-	182	294
	1-3	25.0	51 x 51	4.0	◎	4	-	20	3.6	0.06	-	-	182	304
	1-4	25.0	54 x 53	7.0	◎	7	-	21	3.7	0.15	-	-	188	314
	1-5	24.5	57 x 54	6.0	◎	5	8	20	4.0	0.10	-	-	137	293
	1-6	25.0	57 x 55	3.0	◎	5	7	11	3.8	0.12	-	-	129	274
2	2-1	20.0	29 x 29	18.0	×	15	17	22	5.3	0.15	35.1	116	174	286
	2-2	23.5	50 x 46	10.0	×	7	10	14	5.2	0.13	28.7	146	210	316
	2-3	25.5	60 x 57	8.0	◎	0	5	7	5.5	0.13	28.4	130	185	274
	2-4	21.0	45 x 44	16.0	×	6	11	19	5.5	0.20	19.8	135	200	306
	2-5	24.0	56 x 53	7.0	◎	2	6	11	4.5	0.27	24.3	141	227	334
	2-6	23.0	44 x 42	11.0	×	11	14	18	5.0	0.09	35.2	177	260	358
	2-7	25.5	48 x 55	1.0	◎	0	3	14	4.5	0.11	34.9	172	246	340
3	3-1	24.5	49 x 48	2.0	○	6	9	14	3.7	0.12	25.2	115	201	306
	3-2	24.5	49 x 47	2.0	○	5	10	20	3.3	0.08	39.2	164	281	413
	3-3	24.5	50 x 50	2.0	◎	5	9	14	3.3	0.07	69.1	280	452	592
4	4-1	25.5	60 x 59	0.0	◎	0	4	7	3.1	0.17	14.0	106	196	293
	4-2	25.0	55 x 54	1.0	◎	0	6	18	3.2	0.17	23.9	110	190	291
	4-3	23.5	53 x 49	3.0	○	5	9	19	4.8	0.12	14.1	107	190	292
	4-4	23.0	46 x 46	4.0	△	5	11	14	4.7	0.18	25.0	112	197	280

備考) コンクリートの練り上がり温度は18~20℃であった。

注) 表中の流動性の評価は、スランブ24~26cm, スランブフロー50~60cm, ボックス高さの差8cm以下の数値により評価した。 ◎: 上記の3条件すべてを満足したもの、 ○: 3条件のうち2つを満足したもの

△: 3条件のうち1つを満足したもの、 ×: 3条件のいずれも満足しないもの

3. 1 フローイングコンクリートの調査
骨材の種類と調合の補正方法を表-5に示す。単位水量が大きいほど見かけの降伏値が小さくなり、流動性が大きくなることが指摘されている [6]。混和剤量を増やせば、単位水量は小さくできるが、凝結遅延・初期強度発現の遅れ等のため、おのずから制約がある。

表-5 骨材の種類と調合の補正方法
(川砂・川砂利からの補正)

骨材の種類		調合の補正		
細骨材	粗骨材	単位水量	細骨材率	特殊混和剤量
川砂	砕石	補正なし	4.9%増	6.7%増
砕砂(30%)	砕石	同上	5.8%増	8.3%増
砕砂(50%)	砕石	同上	6.4%増	15.0%増

本実験における単位水量は、JASS 5 に規定された許容範囲内の 185kg/m^3 とした。細骨材率は、川砂・川砂利に比べ、川砂・砕石で約5%の増加、砕砂50%内割の場合には、それよりさらに細骨材率を1.5%増加することにより、前述2.3で目標とした流動性が得られた。特殊混和剤量は、骨材の種類により差が見られ、川砂・川砂利の場合がもっとも少なく、砕砂50%の場合にはそれより約15%の増加となった。

3. 2 流動性について

スランプとスランプフローとの関係を図-4に示す。スランプが大きいと、スランプフローは、ほぼ比例して大きくなる。図-5(a)~(c)に、スランプ、スランプフローおよびフローテーブル振動回数とボックス高さの差との関係を示す。図-5(a)のスランプとボックス高さの差との関係は、スランプが大きいとボックス高さの差は小さくなり、砕砂・砕石コンクリートを除けば、ほぼ比例している。例えば、ボックス高さの差が8cm以下に対応するスランプは24~26cmであった。図-5(b)のスランプフローとボックス高さの差との関係も同様な傾向がみられ、ボックス高さの差が8cm以下に対応するスランプフローは50~60cmであった。

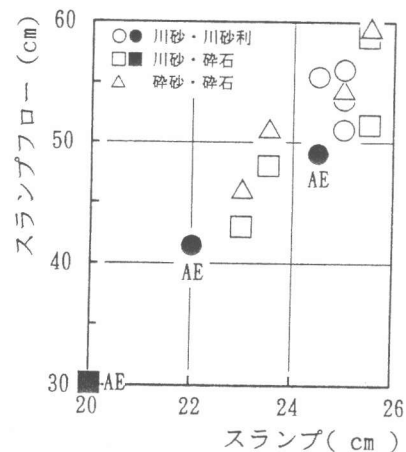


図-4 スランプとスランプフローとの関係

図-5(c)のフローテーブル試験によるコンクリートの広がりや円形枠の1/2周に接した振動回数とボックス高さの差との関係より、振動回数が少ないコンクリートは、ボックス高さの差も小さくなる傾向にあるが、実用性については検討を必要とする。これらの結果より、スランプおよびスランプフローが大きいほど（コンクリートが軟らかいほど）、ボックス高さの差が小さくなる。フローイングコンクリートについては、スランプとスラ

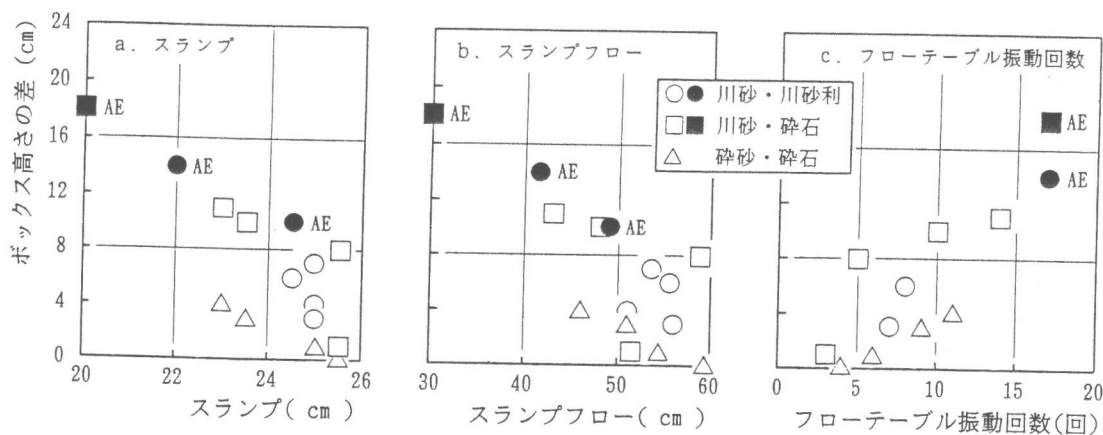


図-5 スランプ、スランプフローおよびフローテーブル振動回数とボックス高さの差との関係

ンプフローおよびボックス高さの差を測定することにより、コンクリートの流動性を一応評価できると考えられる。本実験の範囲内では、予備実験によって定めた目標値のスランブ 24~26cm、スランブフロー 50~60cm、ボックス高さの差 8cm以下のコンクリートの流動性は妥当なものとして判断した。なお、粗骨材の最大寸法を13mmと小さくした場合は、今回の結果では、ボックス試験による流動性はやや小さかったが、柱・梁の仕口など複雑な部分への打込・締固めが容易になると考えられる。AE剤およびAE減水剤を用いた場合は、表-4に示すようにフローイングコンクリートとしての目標値が得られなかった。

スランブおよびボックス高さの差とブリージング量との関係を図-6に示す。ブリージング試験は、直径15cm・高さ30cmの容器を用いて行った。フローイングコンクリートのブリージング量は、 $0.3\text{ml}/\text{cm}^2$ 以下となった。JASS 5 解説に示されたブリージング量の目安は、 $0.5\text{ml}/\text{cm}^2$ 以下とされており、今回の実験ではこれを十分満足する結果が得られた。

3.3 圧縮強度について

コンクリートの種類と圧縮強度比との関係を表-6に示す。高炉スラグ微粉末を30%代替させた川砂・川砂利コンクリートの圧縮強度は若干低く、材令28日における圧縮強度比は0.96であった。細骨材に石灰石粉を10%代替させた川砂・碎石コンクリート（単位水量は一定）の圧縮強度は大きく、材令28日における圧縮強度比は1.18であった。フローイングコンクリートの圧縮強度は、AE剤を用いた場合に比べ材令1日において小さいものもあるが、その後の材令に伴う強度は増加しており大差はないと思われる。粗骨材の最大寸法を13mmと小さくした場合は、圧縮強度への影響は見られなかった。セメント水比と圧縮強度との関係の一例を図-7に示す。セメント水比と圧縮強度との関係は、各材令において直線関係を示した。

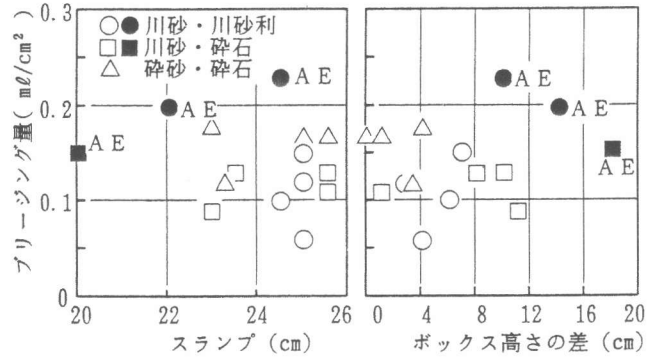


図-6 スランブおよびボックス高さの差とブリージング量との関係

表-6 コンクリートの種類と圧縮強度比
(川砂・川砂利材令28日強度を1.00とした場合)

コンクリートの種類		圧縮強度比(W/C=60%)			
骨材	混和材料	1日	3日	7日	28日
川砂・川砂利	-	-	-	0.60	1.00
川砂・川砂利	スラグ ²⁾	-	-	0.45	0.96
川砂・碎石	-	0.09	0.48	0.69	1.04
川砂・碎石	石灰石粉 ³⁾	0.12	0.58	0.86	1.18
川砂・碎石(13mm)	-	0.06	0.44	0.66	1.00
川砂・碎石	(AE剤)	0.12	0.39	0.58	0.96
砕砂・砕石	-	0.05	0.35	0.62	0.96

注)1 特殊混和剤を用いた場合。

注)2 高炉スラグ微粉末をセメントの30%代替。

注)3 石灰石粉を砂の10%代替。

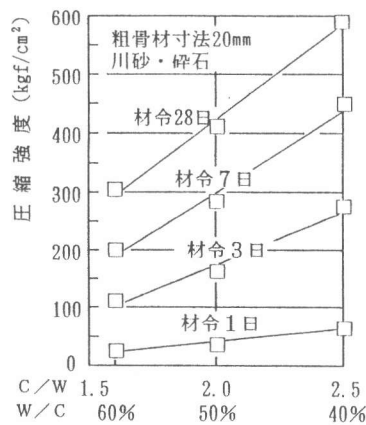


図-7 セメント水比と圧縮強度との関係

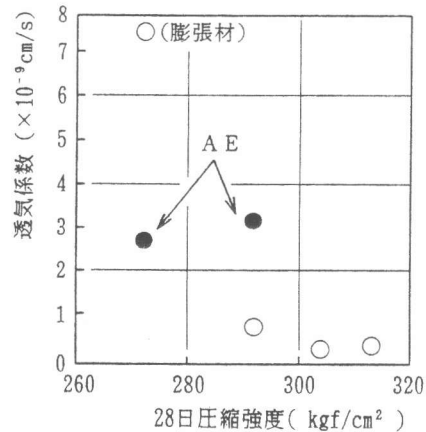


図-8 圧縮強度と透気係数との関係(川砂・川砂利)

3. 4 透気性について

圧縮強度と透気係数との関係の一例を図-8に示す。圧縮強度が大きいほど透気係数は小さい傾向にある。膨張材を混入した場合、透気係数は大きくなったが、原因としては供試体の作製時に拘束しなかった為、組織が粗になったのではないと思われる。

3. 5 長さ変化について

保存期間と長さ変化率との関係の一例を図-9に示す。保存期間26週(6ヶ月)を経過したコンクリートの乾燥収縮率は 6×10^{-4} ~ 8×10^{-4} であった。JASS 5 解説に示された乾燥収縮率 8×10^{-4} 以下を目標値と考えると、フローイングコンクリートの乾燥収縮率は、ほぼこれを満足する結果が得られた。

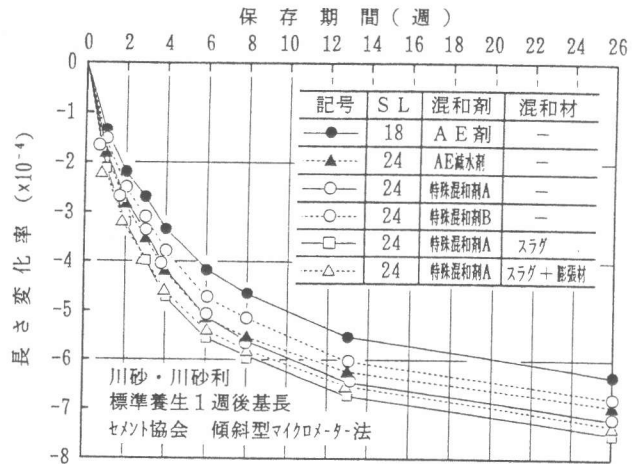


図-9 保存期間と長さ変化率との関係

4. まとめ

本研究は、従来、建築に用いられていた軟練りコンクリートを、新特殊混和剤を用いてフローイングコンクリートとして実現しようとするものである。調査・流動性・強度・収縮を主題として、実験的な検討を行った。今回の実験の範囲内で、次のことが明らかになった。

- 1) フローイングコンクリートの調合設計は、特殊混和剤を用いることにより、JASS 5 1957年改定版に示された標準調合表に準じ、表-5に示すような簡単な補正により行える。
- 2) 流動性の評価方法は、スランプとスランプフローおよびボックス試験(ボックス高さの差)を併用して評価するとよい。
- 3) フローイングコンクリートの条件は、スランプ 24~26cm、スランプフロー 50~60cmおよびボックス高さの差 8cm 以下が適切と考えられる。
- 4) 圧縮強度・乾燥収縮は、特殊混和剤を用いないスランプ18cmのコンクリートと同等であった。

今後は、フローイングコンクリートの凍結融解に対する抵抗性、促進中性化、実際の柱・梁・壁・床等を想定した実験を行い、調合設計方法・品質管理方法を確立したい。

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、1989.6
- 2) 佐原晴也・庄司芳之・竹下浩之：高流動コンクリートのワーカビリティ試験方法と充填性に関する研究、日本建築学会大会学術講演概要集、pp. 941-942、1991.9
- 3) 水中不分離性コンクリート・マニュアル(設計・施工)、(財)沿岸開発技術センター・(財)漁港漁村建設技術研究所
- 4) B. K. Nyame and J. M. Illston: Relationships Between Permeability and Pore Structure of Hardened Cement Paste. Magazine of Concrete Research, Vol. 33, No. 116, September, 1981
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5)、pp. 112-119、1957
- 6) 和美廣喜・依田和久・柳田克巳・阿部達也：高強度コンクリートの流動特性値に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演概要集、pp. 927-928、1991.9

(付記) 本実験研究は、フローイングコンクリート研究会で実施したものである。

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 笠井芳夫(日本大学) | 湯浅昇(日本大学) | 飛内圭之(三菱マテリアル) |
| 鳴瀬浩康(三菱マテリアル) | 和美廣喜(鹿島技研) | 岡村一臣(フジタ技研) |
| 西山直洋(西松技研) | 中島浩二(サンフロー) | 炭村栄一(山陽国策パルプ) |
| 森部紀晴(山陽国策パルプ) | 長田浩治(山陽国策パルプ) | 内海鉄夫(山宗化学) |
| 平石信也(山宗化学) | 高野肇(山宗化学) | 岡龍一郎(山宗化学) |