

高吸収性ポリマー混和によるコンクリートの養生の簡略化および初期ひび割れ抑制

一宮 一夫

大分工業高等専門学校 都市・環境工学科

高吸収性ポリマー(SAP)は、自重の数百倍から数千倍の水分を吸収できる。これをコンクリートに混和して練混ぜ水の一部を吸水させることで、プラスチック収縮ひび割れや初期の乾燥収縮ひび割れ抑制が期待できることが既往において報告されている。本研究では、市販品ならびにコンクリート用試作品のSAPを用い、養生の簡略化や養生不良により発生する初期の微細ひび割れの防止効果を確認するとともに最適な配合条件を示した。

1. はじめに

コンクリート構造物の長寿命化の要求は益々高まっており、健全度評価方法や補修・補強工法の開発が積極的に進められている。その一方で、親切や補修・補強に係らずコンクリート工事においては依然として施工不良の問題があり、効果的かつ低コストでの工法の開発が求められている。

施工不良の主要なものには、コンクリートの締固め不良に伴う欠陥、養生不良が原因による微細ひび割れとそれに伴う漏水等がある。施工不良によるひび割れとしては、プラスチック収縮ひび割れと初期の乾燥収縮ひび割れが挙げられ、漏水の発生や鉄筋腐食の原因となる。そのため、十分な養生が不可欠であるが、実際には、必要となる養生条件や養生期間を工程上の要因で取れないとも多く、ひび割れの黙認や最後に補修とするといった方法が取られる場合もある。

他方、自重の数百倍から数千倍の水分を吸収し膨張することができる高吸収性ポリマー(super-absorbent polymer:SAP)をコンクリートの混和材料として用いることがヨーロッパを中心に注目されている。我が国でもプラスチック収縮ひび割れや初期の乾燥収縮ひび割れ抑制が期待できることが、既往において辻らにより報告されている¹⁾。

本研究では、同工法の普及を目的に、低コストのSAPを使用した場合の、養生の簡略化や養生不良により発生する初期の微細ひび割れを防止できる最適配合について検討する。

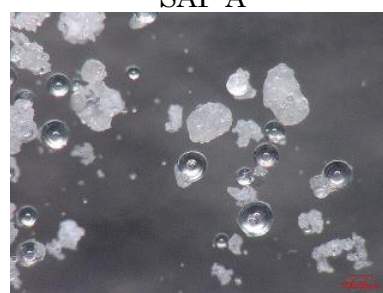
2. 実験概要

2.1 使用材料ならびにモルタル製造方法

養生の簡略化に関する実験、および初期ひび割れ防止に関する実験の2種類を行う。配合はモルタルとし、普通ポルトランドセメント、標準砂、水道水、吸水率の異なる2種類のSAPを使用した。図1にSAP-AとSAP-Bの吸水前の



SAP-A



SAP-B

図1 SAP-A および SAP-B の吸水前拡大図

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、密度 $3.18\text{g}/\text{cm}^3$
骨材	標準砂 (JIS R 5201)
水	水道水
混和剤	高性能A E 減水剤
S A P	SAP-A(吸水率 $7.5\text{g}/\text{g}$) 平均粒径 $<63\mu\text{m}$ $63\sim 125\mu\text{m}$ $125\sim 250\mu\text{m}$ SAP-B(吸水率 $22.5\text{g}/\text{g}$)

拡大画像、表1に使用材料を示す。

配合は、 $S/C=1.0$ 、 $W/C=30\%$ 、 40% 、 50% の3水準とし、静置フローが $230\pm 10\text{mm}$ になるように高性能A E 減水剤の使用量を調整した。配合の詳細は表2に示す。

表 2 配合条件

(1) SAP-A の配合

SAP/C (%)	W/C (%)	1 バッチの質量 (g)					
		C	W1	W2	S	SP	SAP
0	30	750	221.3	0	750	3.8	0
1	30	750	221.3	100.6	750	3.8	7.5
0	40	750	299.3	0	750	0.7	0
0.4	40	750	299.3	22.6	750	0.7	3
1	40	750	299.3	56.3	750	0.7	7.5
0	50	750	375	0	750	0	0
0.2	50	750	375	11.3	750	0	1.5
0.4	50	750	375	22.5	750	0	3

(2) SAP-B の配合

SAP/C (%)	W/C (%)	1 バッチの質量 (g)					
		C	W1	W2	S	SP	SAP
0	30	750	221.3	0	750	3.8	0
0.2	30	750	221.3	33.8	750	3.8	1.5
0.4	30	750	221.3	67.5	750	3.8	3
0	40	750	299.3	0	750	0.7	0
0.2	40	750	299.3	33.8	750	0.7	1.5
0.4	40	750	299.3	67.5	750	0.7	3
0	50	750	375	0	750	0	0
0.2	50	750	375	33.8	750	0	1.5
0.4	50	750	375	67.5	750	0	3

練混ぜにおいては、セメントと SAP をあらかじめ十分に混ぜ合わせた後、他の材料を投入する方法を採用した。これは、今回使用した SAP の粒径が極めて微小で、かつ純水に接すると急速に膨張するため、SAP のモルタル中への行き渡りを考慮したことによる。また、モルタルの練混ぜには、それぞれ公称容量 3 リットルのモルタルミキサを使用した。

2.2 SAP の吸収率に関する予備実験

使用材料を表 1 に示す。コンクリート中での SAP の吸水率の測定は、SAP の吸水率を数水準に仮定して水量を調整したモルタルと、SAP 無混入の標準モルタルの流動性(フロー値)の経時変化の比較から推定し、両者が最も一致する条件を SAP 吸水率と判定した。SAP を混和したモルタルのフロー値の経時変化をそれぞれ図 2 および図 3 に示す通りであり、吸水率はそれぞれ 7.5g/g と 22.5g/g とした。

2.3 モルタルの製造

SAP の混入率はセメント質量に対して 2% の(コンクリートにした場合の空隙率 20%に相当する)とした。この実験より SAP の吸水率があることを考慮して水の配合量を設定した。モルタルの練混ぜは以下の手順で行った。

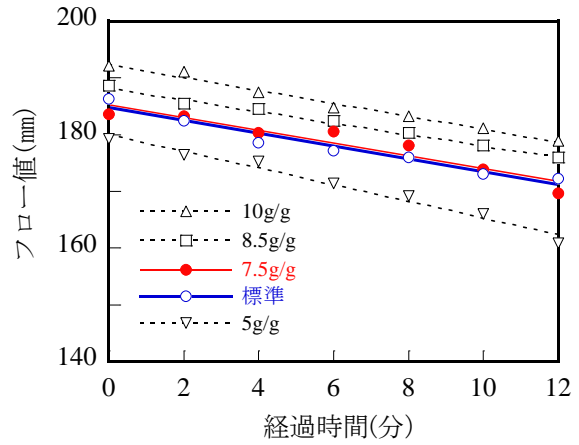


図 2 練置き時間とフロー値の関係 (SAP-A)

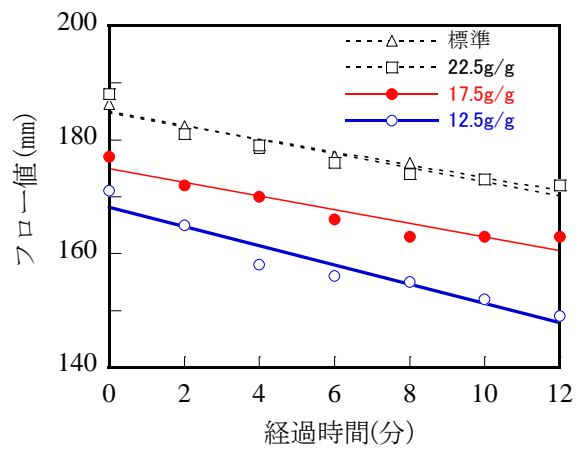


図 3 練置き時間とフロー値の関係 (SAP-B)

- セメント, SAP, を練り鉢にいれセメントと SAP を 1 分間空練りしよく混ぜ合わせる。
- 水(混和剤を使用する場合は事前に溶かしておく)を練り鉢に入れる。
- 直ちに、練り混ぜ機を低速(自転速度：毎分 140±5 回転, 公転速度：毎分 62±5 回転)で始動させる。
- 練り混ぜ機を始動させて 30 秒後に、標準砂を 30 秒間で入れる。
- 低速(自転速度：毎分 140±5 回転, 公転速度：毎分 62±5 回転)にし、引き続き 30 秒間練り混ぜを続ける。
- 90 秒間練り混ぜを休止し、休止の最初の 15 秒間にかき落としを行う。
- 休止が終わったら再び低速で始動させ、60 秒間練り混ぜる(練混ぜ時間は、休止時間も含め 4 分である)。
- 練り混ぜが終わったら練り鉢を練り混ぜ機から取り外し、手動でかき混ぜる。

3. 実験方法¹⁾

3.1 養生の簡略化に関する実験

実験に用いたモルタルの配合条件は、表2の(1)SAP-Aに示す通りである。なお、SAPの添加量は、モルタル体積に対する吸水前のSAPの体積百分率で示している。

モルタルの圧縮強度試験には、 $\phi 5 \times 10$ の円柱供試体を用いた。また、試験材齢は7日とした。供試体は材齢1日において脱型後、に10分間散水した後、水中養生と、気中養生、封緘養生、散水養生の4種類の養生方法について実験を行った。

供試体の作成は以下の手順で行った。

- (a)型枠の全体にはく離剤を吹きかける。
- (b)モルタルの1層目は成形用型の高さの1/2まで流し込み、突き棒で7回突く。その後、2層目は型枠いっぱいまで流し込み、1層目同様、7回突き棒で突く。
- (c)モルタル充填後、成形用型の上のモルタルの盛り上げを削り取り、上面を平滑にする。削り取りは、金属製のこてを用いて表面の整形を行う。
- (d)削り取りが終わったら、ガラス板を成形用型の上に置く。
- (e)脱型は、打込み後1日で行った。
- (f)封緘養生の供試体は、脱型後10分間水中浸漬させ、ラップで表面を封緘した後、供試体の重量を測定する。その後、封緘用の専用袋に入れ、ガムテープで空気が漏れないよう封をする。
- (g)水中養生、散水養生、室内養生の脱型した供試体は、重量の測定を行った後、10分間水中浸漬する。その後、それぞれの養生条件を実施する。

圧縮強度試験は、材齢7日で、JIS A1108、JIS A1106に準拠して測定した。

3.2 初期ひび割れ抑制に関する実験

実験は、モルタルについてのみ行った。モルタルの配合は表2の(2)SAP-Bに示す通りである。

乾燥収縮ひび割れ発生促進試験は図4に示すようにD25の鉄筋を7本配置した幅7.5cm、長さ22.5cm、厚さ3.0cmの供試体を作成し、モルタル打込み直後に40°Cの乾燥炉に投入し、所定時間経過後に供試体を取り出し、ひび割れの発生状況を観察する方法とした。なお、ひび割れ発生状況は、まずアセトンに表面に塗布し、その乾燥過程でひび割れ発生箇所を確認した。

供試体の作成は以下の手順で行った。

- (a)型枠に隙間がないことを確認する。



図4 初期ひび割れ発生実験用型枠

- (b)モルタルを型枠に詰める。その際、振動はかけずに行い、モルタルを型枠の隅々まで詰める為に、棒を用いてモルタルを流し込む。
- (c)モルタルの充填が終了したら、成形用型の上の盛り上げを削り取り、上面を均一に平滑にする。
- (d)1時間程度、供試体表面のブリーディングが収まるまで室内で乾燥させた後、40°Cの乾燥炉に投入する。
- (e)脱型はモルタル打込み後、1日で行い質量を測定した。
- (f)脱型後、乾燥炉に再び投入し、3日間乾燥させる(供試体は計96時間乾燥炉で乾燥させる)。

4. 実験結果および考察

4.1 養生の簡略化に関する実験

図5に標準養生における配合ごとの圧縮強度の比較を示す。まず、SAP-Aの場合は、全体的にはSAP混入で圧縮強度は低下し、その低下率は混入率が高いほど大きい。SAP無混入(0%)と混入率0.4%や1.0%の比較において、圧縮強度とSAP混入率は負の相関関係にあり、SAP混入率0%、0.4%、1.0%に対する圧縮強度は、52.7、46.8、34.2N/mm²であった。一方のSAP-Bの場合においても同様の傾向であり、SAP混入率が高いほど圧縮強度は小さい。SAP-AとSAP-Bの比較では、SAP-Aの0.4%混入とSAP-Bの0.2%混入、SAP-Aの1.0%混入とSAP-Bの0.4%混入の強度がほぼ同水準である。セメント硬化体の強度と空隙の関係はセメント空隙比式に従うことが知られている。SAP-Aの吸水率は7.5g/g、SAP-Bの吸水率は22.5g/gであり、SAP-Aの混入率1.0%と同じ空隙量は、SAP-Bのおよそ0.3%に相当する。つまり、SAP-Bの混入率0.3%

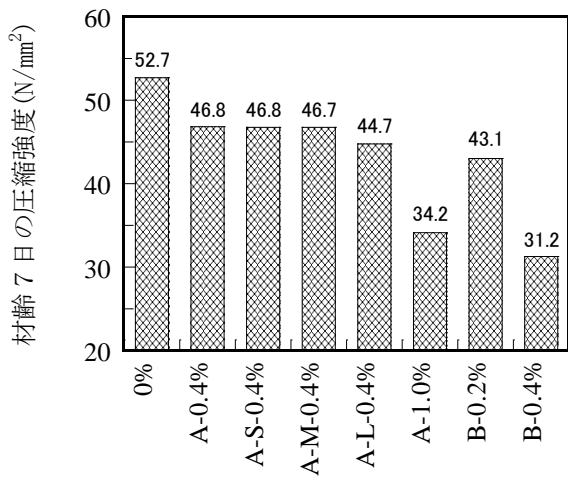


図5 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, 水中, 20°C)

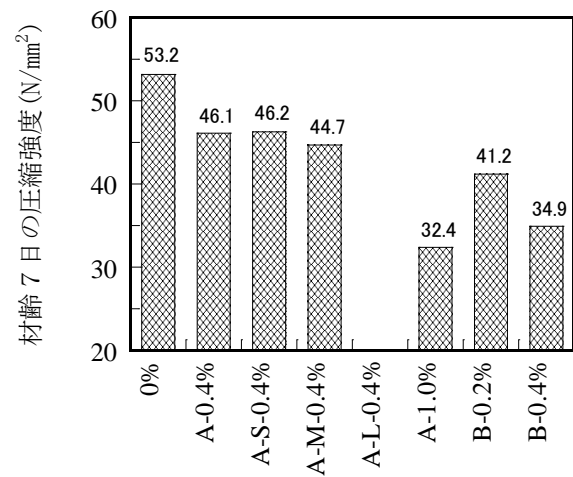


図7 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, 散水, 20°C, 60%RH)

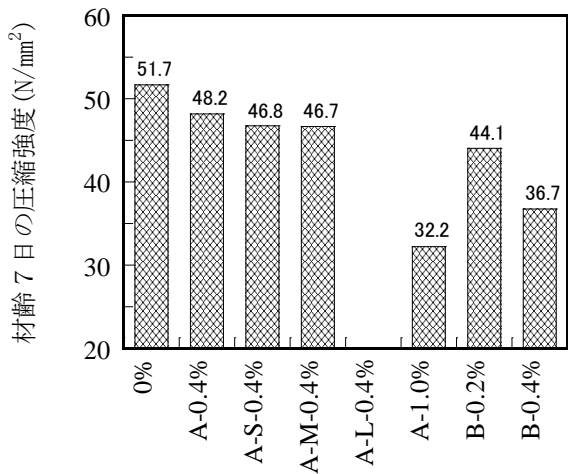


図6 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, 封緘, 20°C)

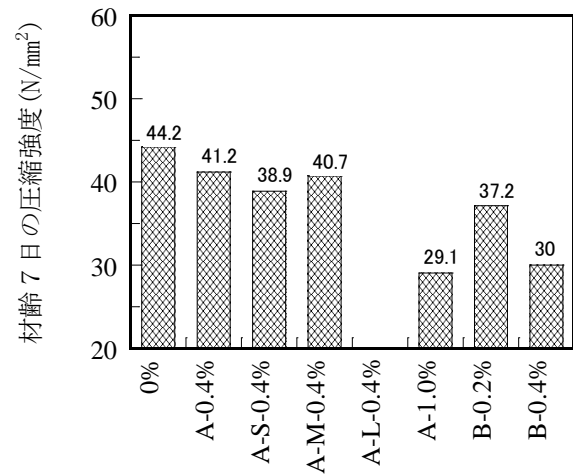


図8 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, 室内, 20°C, 60%RH)

の強度は 34.2N/mm² 近傍と予想される。それよりも、SAP-B の混入率 0.4% が 31.2N/mm² で、僅かに低いことから、セメント空隙比説の適応性は高いと判断できる。また、本研究で採用した、SAP の吸水率をフロー値の経時変化で推定する方法は実用上十分な精度を有していることを確認した。

図 6～図 8 は封緘養生、散水養生、室内養生の結果である。なお、A-L-0.4% は実施していない。全体としては SAP 混入率が高いほど強度は低い。配合別の強度の大小関係は、全体としてはいずれの結果も酷似しているが、SAP-B の 0.4% については SAP-A の 1.0% よりも大きく、前出の図 5 に示した標準養生の結果とは異なる。この原因は不明であるが、SAP-B の高吸水性の効果によるものとも考えられる。

図 9～図 11 に SAP 無混入の場合の、養生条件ごとの圧縮強度、標準養生に対する強度比、脱型時の質量に対する供試体の質量比を示す。

まず標準、封緘、散水の圧縮強度は、散水がわずかに大きいものの、ほぼ同水準である。他方、室内の圧縮強度は著しく低く、標準養生の 84% に止まっている。質量比については、標準が最も高く、封緘、散水、室内の順で小さくなる。室内の質量比はわずか 3.9% の減少であるが、圧縮強度は非常に小さいことから、脱型直後の湿分の散逸が数パーセントでも圧縮強度は 20% 程度低下することから、初期養生の重要性を再確認した。

図 12～図 14 に SAP-A を 0.4% 混入した結果を示す。圧縮強度の標準、封緘、散水の比較において、封緘が約 3% 大きい、総体としては同水準である。他方、室内の圧縮強度比は 88% で、SAP 無混入の 84% に対して 4% の増加がみられた。質量比の傾向は無混入とほぼ同様である。

図 15～図 17 に SAP-A を 1.0% 混入した結果を示す。この場合は封緘、散水において 5% 程度の強度低が生じた。また、質量比は 0.4% 混入よ

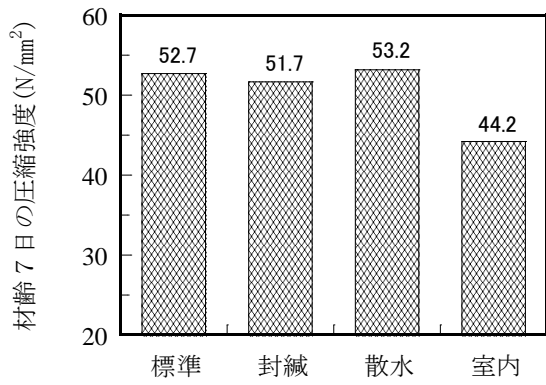


図9 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, SAP=0%)

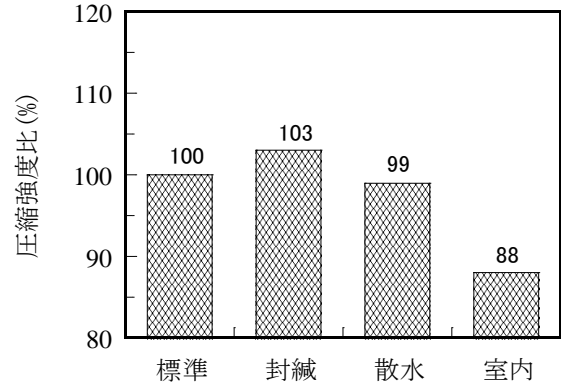


図13 配合ごとの圧縮強度比の比較
(W/C=40%, SAP-A=0.4%)

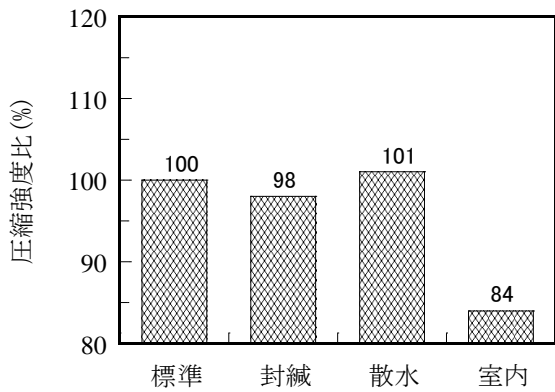


図10 配合ごとの圧縮強度比の比較
(W/C=40%, SAP=0%)

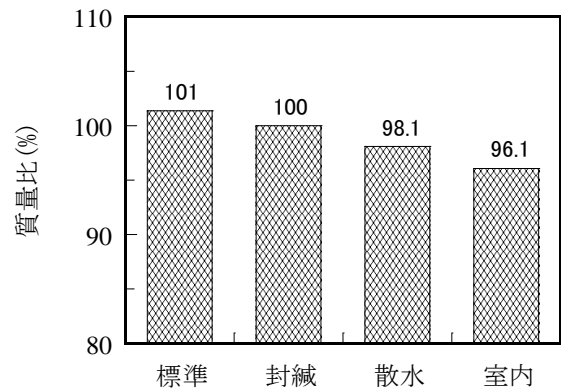


図14 配合ごとの質量比の比較
(W/C=40%, SAP-A=0.4%)

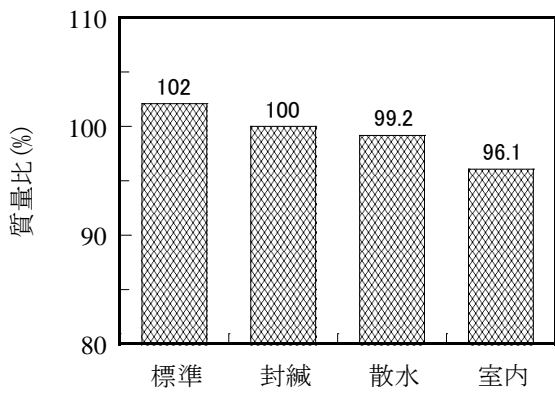


図11 配合ごとの質量比の比較
(W/C=40%, SAP=0%)

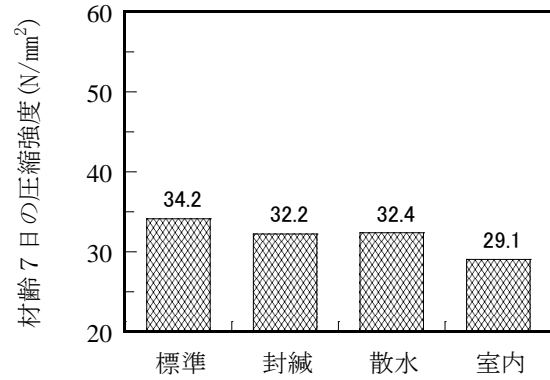


図15 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, SAP-A=1.0%)

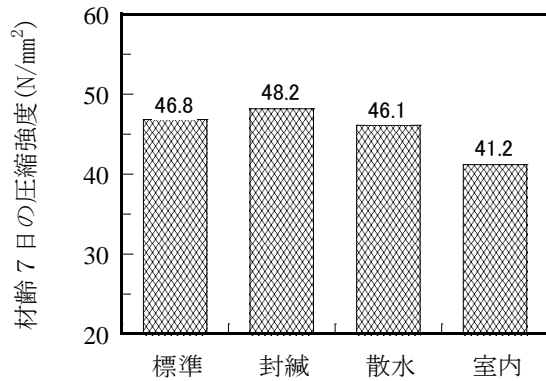


図12 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, SAP-A=0.4%)

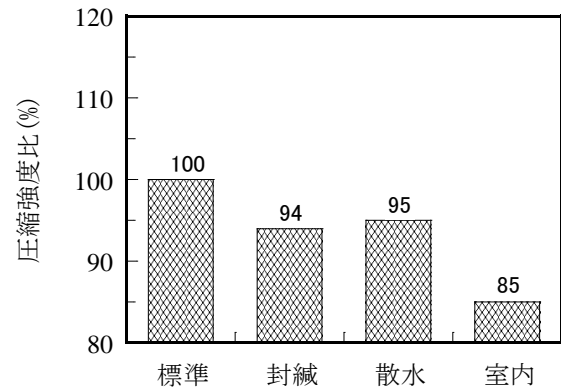


図16 配合ごとの圧縮強度比の比較
(W/C=40%, SAP-A=1.0%)

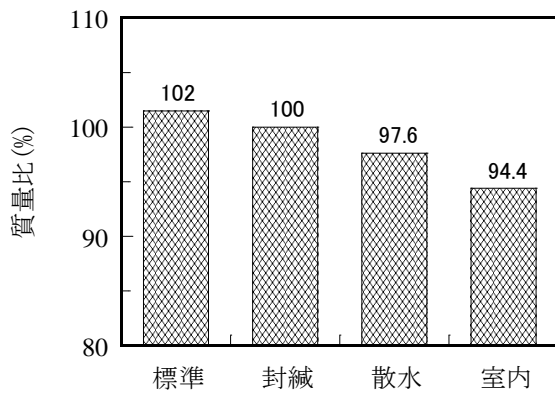


図 17 配合ごとの質量比の比較
(W/C=40%, SAP-A=1.0%)

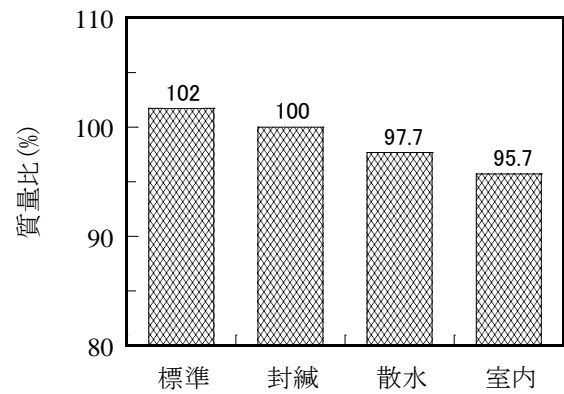


図 20 配合ごとの質量比の比較
(W/C=40%, SAP-A-M=0.4%)

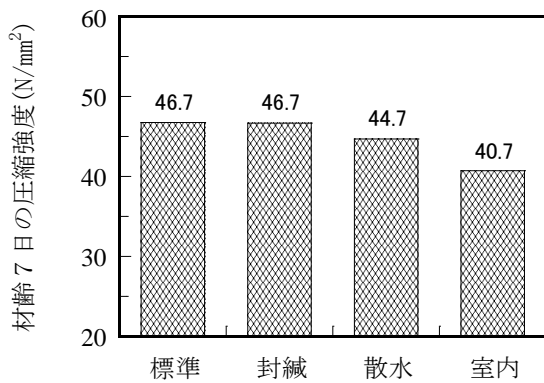


図 18 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, SAP-A-M=0.4%)

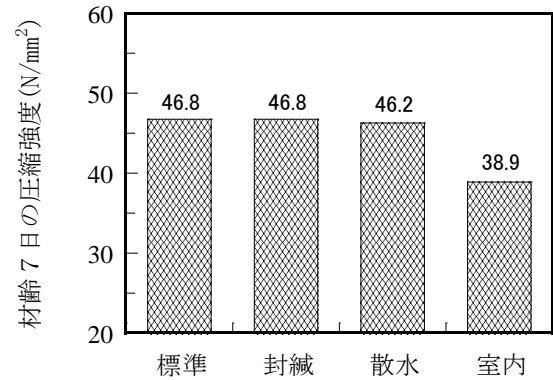


図 21 配合ごとの圧縮強度の比較
(W/C=40%, SAP-A-S=0.4%)

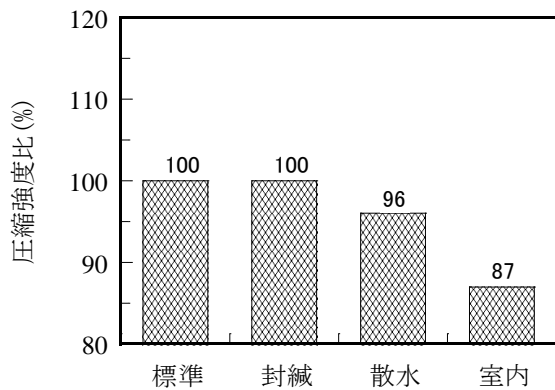


図 19 配合ごとの圧縮強度比の比較
(W/C=40%, SAP-A-M=0.4%)

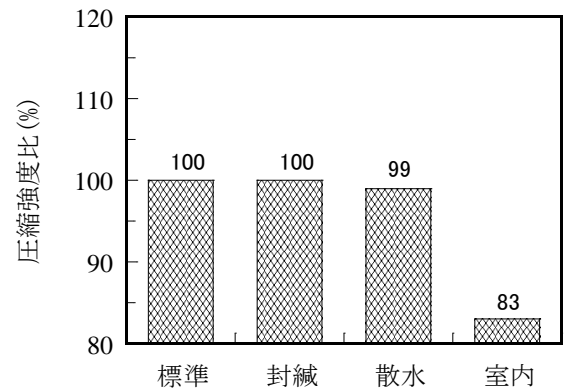


図 22 配合ごとの圧縮強度比の比較
(W/C=40%, SAP-A-S=0.4%)

りも小さいが、SAP 混入率が高い方が基準となる脱型直後の供試体質量が小さく、湿分の大気中への散逸が同じ場合は、質量比が小さく評価されることが主な原因と考えられる。

図 18~20 と図 21~23 は、SAP 無混入と比較すると、圧縮強度は多少低い傾向はほぼ近いことが分かった。このことから、異なる粒径が養生の簡略化に及ぼす影響は低いのではないかと考える。

図 24~図 26 は、SAP-A の 0.4% と同じ傾向が見られる。

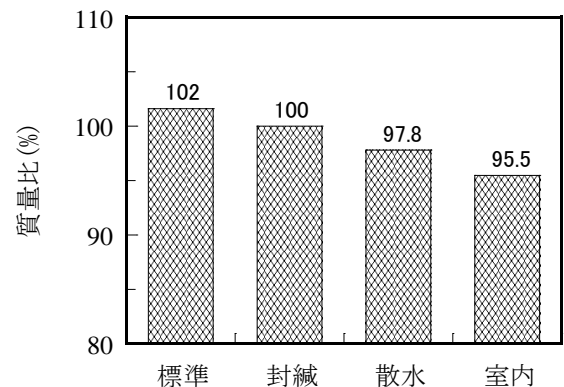


図 23 配合ごとの質量比の比較
(W/C=40%, SAP-A-S=0.4%)

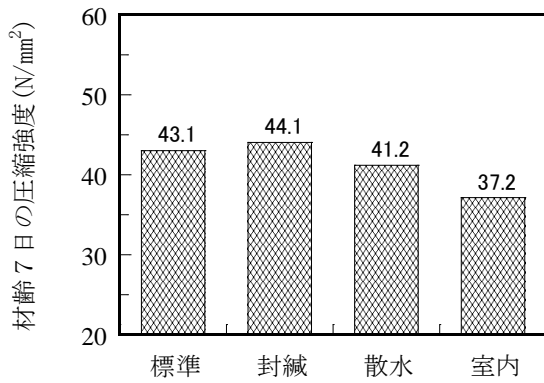


図 24 配合ごとの圧縮強度の比較 (W/C=40%, SAP-B=0.2%)

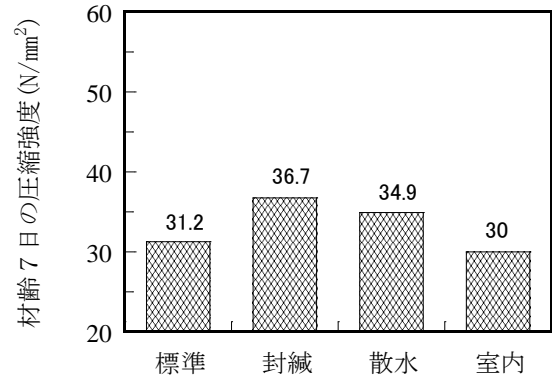


図 27 配合ごとの圧縮強度の比較 (W/C=40%, SAP-B=0.4%)

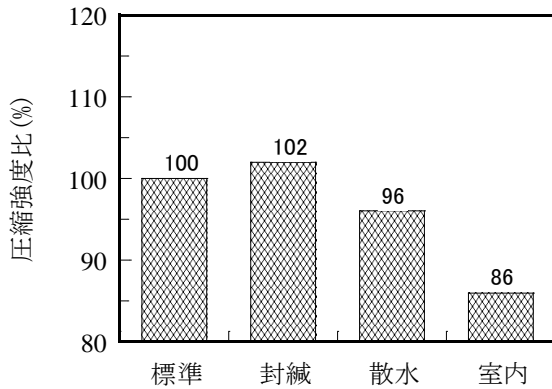


図 25 配合ごとの圧縮強度比の比較 (W/C=40%, SAP-B=0.2%)

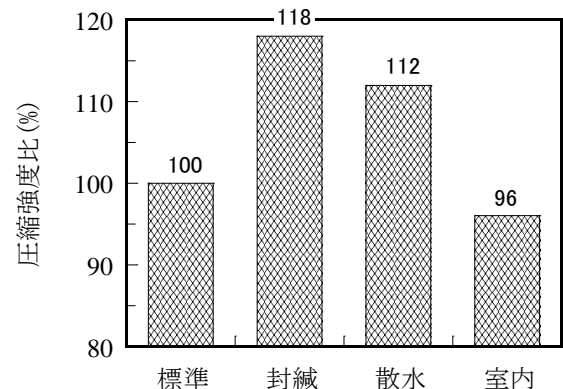


図 28 配合ごとの圧縮強度比の比較 (W/C=40%, SAP-B=0.4%)

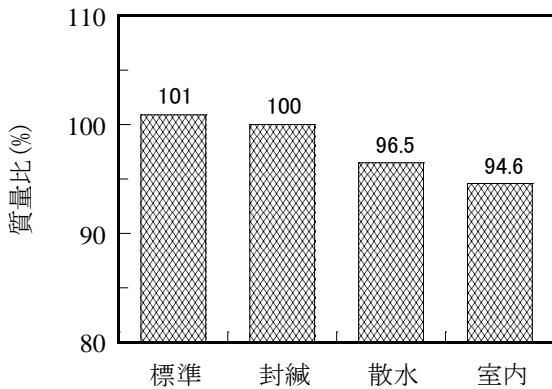


図 26 配合ごとの質量比の比較 (W/C=40%, SAP-B=0.2%)

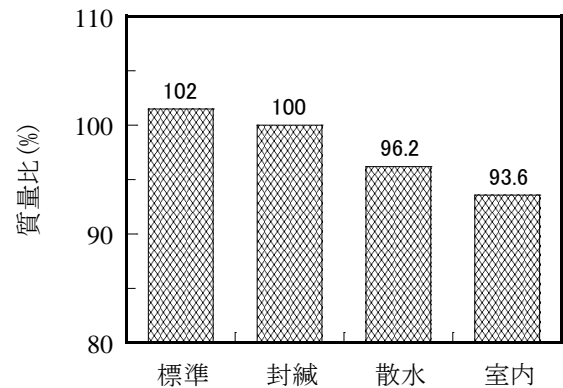


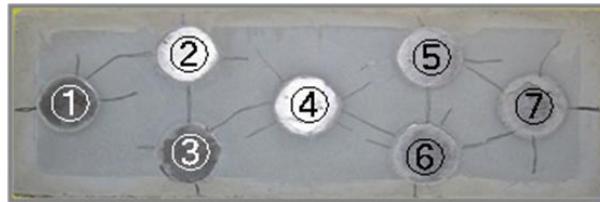
図 29 配合ごとの質量比の比較 (W/C=40%, SAP-B=0.4%)

図 27, 図 28 に養生条件ごとの圧縮強度ならびに圧縮強度比の比較, 図 29 に養生条件ごとの質量比の比較を示す。前述したように SAP-B の圧縮強度は, 0%が 53.7N/mm², 0.2%が 43.1 N/mm², 0.4%が 31.2 N/mm²であり, それぞれの差は 10.6 N/mm²と 11.9 N/mm²ではほぼ等しい。つまり, 圧縮強度と SAP 置換率の間には強い相関があり, セメント空隙比説に従っていることから, SAP-0.4%の標準養生の圧縮強度は妥当な水準であると言える。また, 質量変化についても標準, 封緘, 散水, 室内の順で質量比が

小さく, 乾燥しやすい環境であるほど湿分散逸しやすい傾向にある。このように, SAP-B を 0.4%混入した供試体の標準養生における強度特性は, モルタルとして典型的なものである。その一方で, 標準養生以外の強度は, 他の配合の場合とは大きく異なる。具体的には, 標準に対して封緘は 18%, 散水は 12%高い。また, 室内は 4%低下しているが標準とはほぼ同じである。本配合だけに見られるこのような現象は, SAP 混入の効果によるものと判断できる。そして, 養生の簡略化を期待するには SAP-B をセメン



W/C=30%



W/C=40%



W/C=50%



SAP 無混入, W/C=30%



SAP-A, 1.0%, W/C=30%



SAP 無混入, W/C=50%



SAP-A, 0.2%, W/C=50%



SAP-A, 0.4%, W/C=50%



SAP-A, 1.0%, W/C=50%

図 30 ひび割れ発生状況 (SAP 無混入)

ト質量の 0.4% 混入することで、脱型後に給水をしなくても標準養生レベルの強度を得ることができることや、散水養生をする場合には、散水時間の間隔を広く出来ることがわかった。その一方で、本配合での強度発現特徴の原因は不明であり、今後の課題とした。

4.2 初期ひび割れ防止に関する実験

図 30 に SAP 無混入におけるひび割れ発生状況の W/C ごとの比較を示す。図よりいずれの場合もひび割れが発生している。他方、ひび割れのパターンは W/C で異なり、W/C=30% では鉄筋を中心とした放射状のひび割れと鉄筋と鉄筋の間ならびに鉄筋と断面の端を最短距離で結ぶようなひび割れが混在する。W/C が 40%、50% と大きくなるにつれ、前者のひび割れは少なくなり、後者のひび割れが残る。

セメント硬化体のひび割れの原因となる収縮現象には、乾燥収縮と自己収縮がある。乾燥収縮は表面からの湿分の大気中への放出による体積変化であり、ひび割れの特徴は等間隔で規則性のある点にある。一方の自己収縮はセメントの水和反応に伴い材齢初期で発生する現象で、特に低 W/C の配合で顕著となる。つまり、鉄筋を中心に放射線状に発生するひび割れは乾燥収縮によるものではないかと考えている。

図 31 に SAP-A を混入した供試体のひび割れ発生状況を示す。上 2 つが W/C=30%、その他が W/C=50% の結果であるが、いずれも 1.0% 混

図 31 ひび割れ発生状況 (SAP-A)

入ではひび割れはほとんど発生しておらず、SAP の効果が表れたものといえる。また、W/C=50% の 0.4% 混入では 0.2% とほぼ同程度のひび割れが生じていることから、SAP の効果を発揮できる混入率の境界は 0.4% から 1.0% の間にあることが分かる。

図 32 に SAP-B を混入した供試体のひび割れ発生状況を示す。左列は W/C=30%、右列は W/C=50% の結果である。いずれも場合も 0.2% 混入ではひび割れはほとんど発生しておらず、SAP の効果が表れたものといえる。SAP ごとの

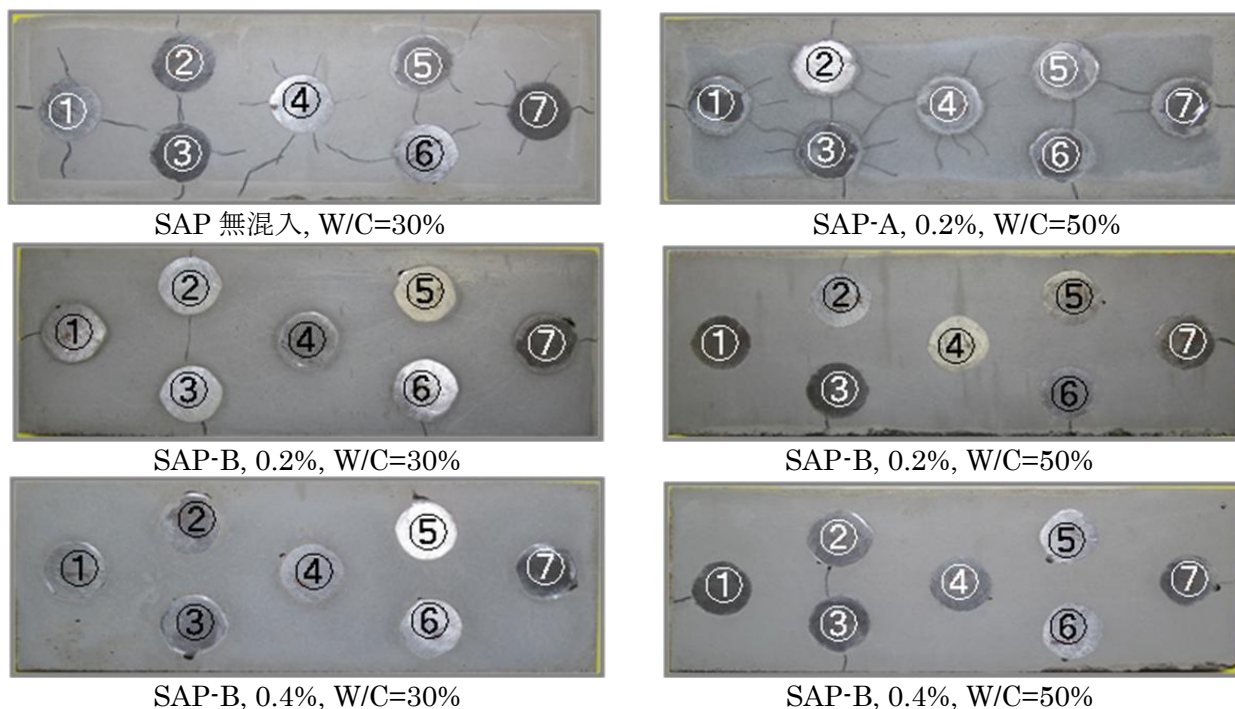


図 32 ひび割れ発生状況 (SAP-B)

吸水量は SAP-A が 7.5g/g で SAP-B が 22.5g/g であるので、SAP-B の 0.2% は SAP-A の 0.6% に相当する。前述したように、SAP-A を使用した場合の初期ひび割れ抑制効果が発揮される混入率は 0.4%～1.0% の間にあると予想されるので、両者はほぼ一致する。SAP の銘柄ごとの効果を発揮できる限界の混入率については今後実験で明らかにする必要があるが、初期ひび割れ抑制効果は総吸水率で決まり、SAP の乾燥時の形状や限界吸水量は問題ならないと言える。

5. まとめ

本研究の結果、以下の知見を得た。

- (1) SAP-B をセメント質量の 0.4% 混入した場合は、標準養生と室内養生(20℃, 60%RH)の材齢 7 強度が同水準であった。このことより、SAP を混入することで養生の簡略化が可能となることが分かった。

- (2) SAP-A, SAP-B とともに初期ひび割れ抑制効果がある。効果を発揮する最小の混入率(セメント比)は、前者が 1.0% で後者が 0.2% である。

なお、本研究の一部は第 65 回セメント技術大会において発表を予定している²⁾。

参考文献：

- 1) 辻 正哲, 舌間孝一郎, 磯部大輔：高吸水性高分子をコンクリート用混和剤として用いた場合における養生の簡略化、初期ひび割れ抑制および漏水防止に関する基礎的研究, 材料, Vol.48, No.11, pp.1308-1315, Nov.1999
- 2) Kazuo ICHIMIYA, Hans-Wolf REINHARDT, Alexander ASSMANN：Effect of super-absorbent polymers(SAP) on simplified curing technique and prevent of initial cracking of mortar, 第 65 回セメント技術大会講演概要集, ページ番号未確定, セメント協会, 2011.5