

論文

[1040] 結合材および骨材等が高強度コンクリートの強度性状に
およぼす影響の検討

正会員 中根 淳 (大林組技術研究所)
 正会員 ○ 久保田 昌 吾 (大林組技術研究所)
 正会員 三浦 律彦 (大林組技術研究所)
 正会員 一瀬 賢一 (大林組技術研究所)

1. まえがき

1,000kgf/cm²を上回る高強度コンクリートを高強度化させる手法としては、(1) 結合材の強化 (2) 高強度骨材の使用、(3) 結合材と骨材との付着性の改善が上げられる。今日では高減水性混和材の著しい品質向上にともない、低水セメント比コンクリートの練混ぜが可能となり、結合材強化に寄与している。本報では、これら高性能減水剤・高性能AE減水剤を使用した水結合材比20~22%の場所打ち高強度コンクリートにおいて使用骨材の種類が圧縮強度等といかなる関係にあるかを検討した結果について述べる。な

お、結合材については前述の試験に用いる調合を定めるために検討したものである。

2. 実験の概要

表-1 に実験要因および水準を、表-2 表-3 に使用材料とコンクリートの調合を示す。

シリーズIの結合材の検討では、水結合材比(以下W/(C+SF)で示す)(15~22%)、シリカフェーム(以下SFと呼ぶ)置換率(10~25%)、結合材の種類(普通・早強セメント、早強セメント+高炉スラグ微粉末)、シリーズIIでは、骨材の種類(粗骨材5種類、細骨材3種類)、組合わせなどの各種要因が主として圧縮強度といかなる関係にあるかを検討した。また細骨材の粗粒率とコンクリートのワーカビリティについても併せて検討した。

試験に使用した骨材の粒度分布は、シリーズII-(1)を除き全シリーズともに同一となるよう予め粒度調整を行った。

コンクリートの練混ぜには100Lパン型、および二軸の各強制ミキサを用い、試験体(φ10×20cm)は標準養生とした。

試験は、全シリーズについて (a)フレックシュコンクリートの性質 (b)圧縮強度を、シリーズII-(3)ではその他 (c)骨材の破碎

表-1 実験の概要

シリーズ	検討項目	要因と水準
I	結合材の強化	(1) 水結合材比: 22, 19, 15% (2) シリカフェーム置換率: 10, 15, 20, 25% (3) 結合材: 普通・早強セメント、早強セ+スラグ微粉末+スラグ細骨材、早強セ+スラグ微粉末
II	高強度骨材の使用	(1) 細骨材の粗粒率: 2.41, 2.67, 3.1, 3.22 (2) ポーキサイトの混入率: (細) 0, 25, 50% (粗) 50, 100% (3) 骨材の種類: 細・粗骨材=硬質砂岩、石灰岩、安山岩、石英片岩、セラミック、丘砂、ポーキサイト

表-2 使用材料

種類	名称・銘柄・産地	比重	特性・主成分など
* セメント	普通ポルトランド	3.16	S.A=3,240cm ² /g
	早強ポルトランド	3.14	S.A=4,180cm ² /g
	特殊プレミックスモルタル	2.94	早強ポルトランド+スラグ微粉末+スラグ細骨材
	特殊プレミックスセメント	3.05	早強ポルトランド+スラグ微粉末 S.A=5,220cm ² /g
* 混和材	シリカフェーム	2.20	S.A=180,000cm ² /g
	丘砂	2.62	吸水率 1.53%
* 細骨材	石英片岩	2.61	吸水率 1.54%
	ポーキサイト (A)	3.29	吸水率 0.03%
	ポーキサイト (B)	3.29	吸水率 0.03%
	ポーキサイト (C)	2.94	吸水率 7.35%
* 粗骨材	硬質砂岩	2.65	吸水率 0.83%
	石灰岩	2.69	吸水率 0.46%
	安山岩	2.62	吸水率 0.72%
	石英片岩	2.62	吸水率 0.63%
* 混和剤	人工セラミック	3.60	吸水率 0%
	高性能AE減水剤 (A)	1.20	特殊アニオン系
	高性能AE減水剤 (B)	1.20	ナフタリンスルホン酸
	高性能AE減水剤 (C)	1.18	アルキルアリスルホン酸

表-3 コンクリートの調合

シリーズ	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	水結合材比 (W/(C+SF) (%))	シリカフェーム置換率 (%)	単位水量 (kgf/m ³)	セメント量 (SFを除く) (kgf/m ³)
I-1	21	2	22	10	150	620
			19	10	142	675
			16	10	134	746
I-2	21	2	22	10~25	150	517~620
I-3	23	2	21	10	146	634
II-1	21	2	20	10	150	675
II-2	21	2	22	10	141	558
II-3	21	2	20	10	131	591

強度 (d) コンクリートの引張割裂強度 (e) 静弾性係数等について行った。

3. 実験結果と考察

3.1 結合材と圧縮強度の関係；図-1にW/(C+SF)と圧縮強度の関係を示す。場所打ちを前提とした場合はW/(C+SF)=25%を下回るあたりから減水剤の使用量が増すとともに粘性が増し、作業性が悪くなる傾向にある。

本実験では、減水剤の過剰添加による凝結遅延を考慮して添加量を3.5%以下としたためW/(C+SF)の低減とともにスランブが低下し、W/(C+SF)=15%では目標スランブが得られず作業性が悪くなっている。一方、初期材令における圧縮強度ではW/(C+SF)=22%に続いて15%が低く、以後材令が経過するに従ってW/(C+SF)=15~22%の間の強度差が認められなくなっている。このようにW/(C+SF)の低減が強度増に結びつかなかった理由としては、(1)スランブ低下による充填性の不良、(2)練り混ぜ性による影響などが考えられ、同様な傾向が山田らの研究¹⁾にも見られる。なお、本実験では粗骨材に硬質砂岩を使用しているが、低いW/(C+SF)域を検討する場合は、より硬質な骨材を使用すべきであったと考える。

図-2にSF置換率と圧縮強度の関係を示す。これは、かつて筆者²⁾が行ったW/(C+SF)=30%における傾向と類似した結果となっており、材令4週強度およびワーカビリティの改善から考慮すると、SF置換率は10%程度が適当であると言えよう。

図-3には普通・早強セメントおよび早強形ブレミックスセメント(高炉スラグ微粉末を含む)使用コンクリートの材令別圧縮強度を示す。本実験結果では早強セメント単味使用の強度が最も高く、材令4週では普通セメントおよび早強セメント+スラグ微粉末使用に対して13~18%高い。なお、全種類にわたってやや強度不足気味ではあるが、これは減水剤の使用量を若干増量したことによる凝結遅延が影響したものと思われる。

これらの実験結果に基づき、以下に続く骨材に関わる実験ではW/(C+SF)=20~22%、SF置換率=10%とし、セメントは普通・早強のうち、本報では普通ポルトランド使用のものについて報告する。

3.2 骨材の種類と圧縮強度他の関係；先にも述べたとおり場所打ちを前提とした場合はコンクリートの作業性(流動性)が極めて重要である。そこで、W/(C+SF)=20%、硬質砂岩・丘砂を使用し、細骨材の粗粒率を変化させて作業性を改善させようと試みた結果を図-4に示す。その結果、粗粒率を2.2から3.2まで引き上げることによってスラン

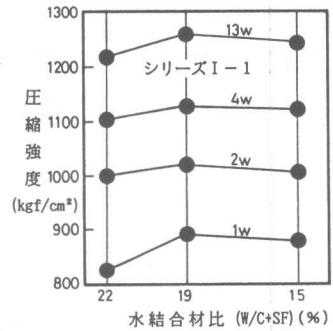


図-1 水結合材比と圧縮強度の関係

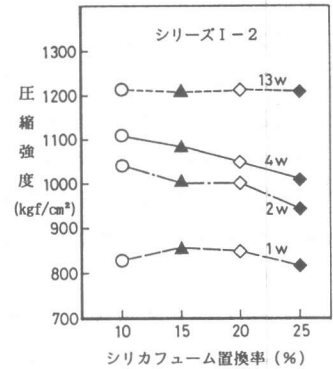


図-2 シリカフェームの混入率と圧縮強度の関係

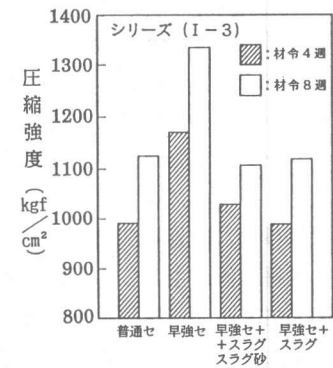


図-3 結合材の種類と圧縮強度の関係

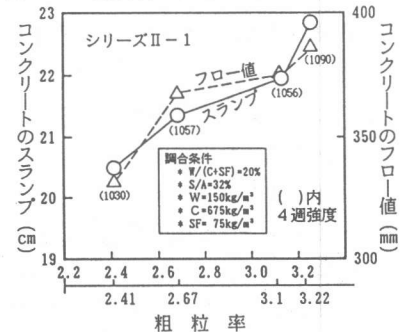


図-4 細骨材の粗粒率とスランブ・フローの関係

プで約2cm、フロー値で45mmほど大きくなり、普通強度レベルほどではないが、若干の改善効果が認められた。

骨材の一部にポーキサイトを使用した場合、強度の増大が認められることは周知の事実であるが、その使用方法については未だ明確でない部分があるため、細・粗骨材のいずれかへの使用、およびその使用量等が圧縮強度といかなる関係にあるかを $W/(C+SF)=22\%$ 、硬質砂岩・丘砂併用の条件のもとで検討した。その結果は図-5に示すとおりで、細・粗骨材ともにポーキサイト置換率が増すに従ってわずかずつつではあるが強度が増大する傾向にあり、細骨材の置換率25%、粗骨材の置換率50%がそれぞれ 1,160、1,120kgf/cm²でほぼ同程度の強度を示していることから、ポーキサイトの使用量が約1/4程度である細骨材使用の方が効率的であると言えよう。なお、予備実験では粗・細骨材に石英片岩とポーキサイトを100%使用したコンクリートの材令4週強度で1,500kgf/cm²を上回るような高強度を得ている。ただし、ポーキサイトを細骨材として使用する場合はポーキサイトの硬度が高く、粉碎した細骨材の粒形が悪いためスランプ低下の傾向にある。

細・粗骨材の種類および組合

せと圧縮強度の関係を図-6に示す。人工セラミックを除く4種類の粗骨材と丘砂の組合わせでは、硬質砂岩、石灰岩、石英片岩が、1,100~1,150kgf/cm²（材令4週）で大差なく安山岩が低い。これを図-7に示すBS破砕値と比較すると、コンクリート強度の最も低い安山岩の破砕強度が高く、コンクリート強度の高い石灰岩、石英片岩などの破砕強度がこれを下回る結果が得られ、骨材破砕強度とコンクリート強度の関係を明確にするには至らなかった。

粗骨材に石英片岩を、細骨材に丘砂、石英片岩、ポーキサイトを使用した場合のコンクリート強度については、ポーキサイト(A)との組合わせが約1,480kgf

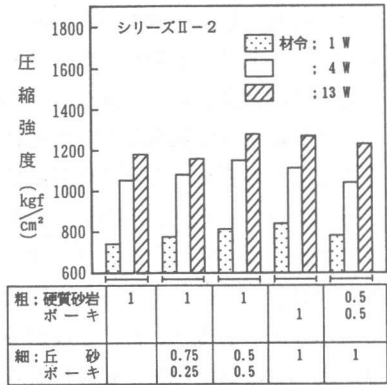


図-5 ポーキサイトの混入率と圧縮強度の関係

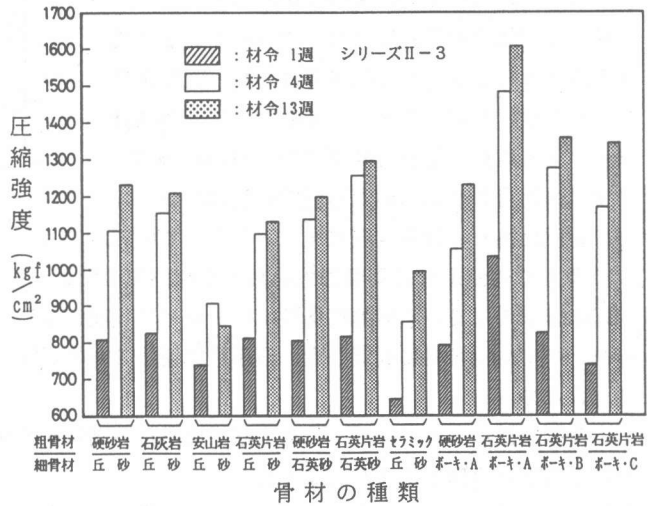


図-6 骨材の種類と圧縮強度の関係

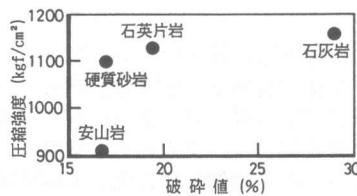


図-7 骨材の破砕値と圧縮強度の関係

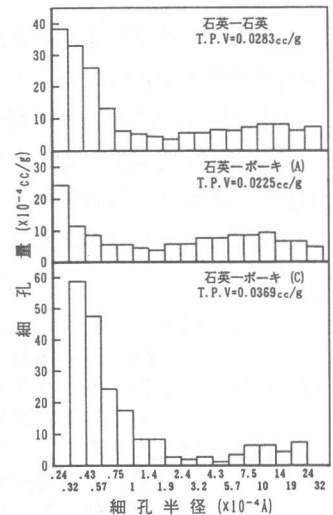


図-8 細骨材の種類別細孔径分布

/cm² (材令4週)で最も高く、ポーキサイト(B)、石英片岩、ポーキサイト(C) 丘砂がこれに続いている。

細骨材に使用したポーキサイトについては、ポーキサイトの品質によって強度差が認められ、良質なA種を使用した場合はあまり良質でないC種使用に比べて約26%程度高い強度が得られている。この原因は、図-8に示すようにA種使用の方がC種使用に比べてコンクリートの総細孔量が小さく、細・粗骨材ともに石英片岩を使用したものと比べても小さめであることと、C種ポーキサイトの特性が表-2の使用材料一覧表にも示してあり吸水率が7%台と極めて大きく、脆弱な骨材であることに起因しているものと思われる。

骨材の引張り割裂強度とコンクリート強度の関係を図-9に示す。この結果では、粗・細骨材の組み合わせが、石英片岩・ポーキサイトで55~65kgf/cm²、それ以外の組み合わせでは44~59kgf/cm²で、いずれの組み合わせにおいても圧縮強度の4.4~5.0%の範囲にあり、建築学会式を若干下回っている。

参考までに使用骨材別静弾性係数と圧縮強度の関係を図-10に示す。圧縮強度900kgf/cm²~1,100kgf/cm²における静弾性係数は37~48×10⁴ kgf/cm²で、骨材の種類によってばらつきが見られ、中でも粗骨材に硬質砂岩、石英片岩使用のものが低い。

4. まとめ

本実験結果から1,000kgf/cm²を上回る場所打ち高強度コンクリートに用いる結合材・骨材等について以下の事項が明らかとなった。

- (1) 普通セメントにシリカフュームを10%置換させた場合の水結合材比の限度は19~20%程度である。
- (2) 本実験の練混ぜ条件によればシリカフュームの置換率は10%が適当である。
- (3) 骨材の組み合わせとコンクリート強度については、細骨材に丘砂を使用した場合は硬質砂岩、石灰岩、石英片岩などの粗骨材との組み合わせが良く、また粗骨材に石英片岩を使用した場合の細骨材としては、ポーキサイトが最も良く、石英片岩、丘砂がこれに続いている。
- (4) ポーキサイトは細骨材として使用した方が効率が良く、合わせて使用する粗骨材の種類によっては、かなりの高強度が期待できる。

文献

- (1) 山田、他；シリカフュームを混入した低水セメント比コンクリートの基礎物性に関する一実験、日本建築学会論文梗概集、日本建築学会、'89.10、P575~576
- (2) 中根、久保田、他；シリカフューム混入コンクリートの強度性状に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、コンクリート工学協会、'87.6、Vol.9、No.1、P51~56
- (3) 渡部、他；高強度コンクリートの基礎的性状に関する実験研究、日本建築学会大会論文梗概集、日本建築学会、'89.10、P577~578
- (4) 中根、久保田、他；RC超高層建物用コンクリートに関する研究、日本建築学会論文梗概集、日本建築学会、'89.10、P567~568

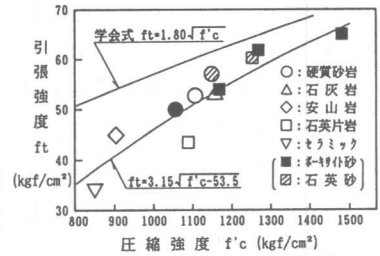


図-9 引張割裂強度と圧縮強度の関係

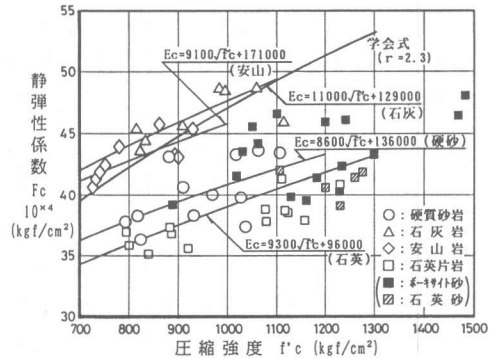


図-10 静弾性係数と圧縮強度の関係