

シリカフュームを用いた高強度コンクリートの若材齢強度特性

Strength of High-Strength Concrete with Silica Fume in Early Age

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学

○学生員 河合 哲志 (Satoshi Kawai)
学生員 寺澤 貴裕 (Takahiro Terasawa)
正会員 菅田 紀之 (Noriyuki Sugata)

1. はじめに

近年、圧縮強度が 100 N/mm² を超える高強度コンクリートの研究が、実用化に向け進められている。しかしながら、結合材の使用量が多いため水和発熱量および自己収縮量が大きく、温度応力および収縮応力によって発生するひび割れが問題となっている。このひび割れの発生の予測を行うためには、材齢数日までの若材齢時における力学的性質を把握する必要がある。

そこで、本研究では材齢1日までの高強度コンクリートの強度特性を明らかにすることを目的とし、検討を行った。

2. 実験概要

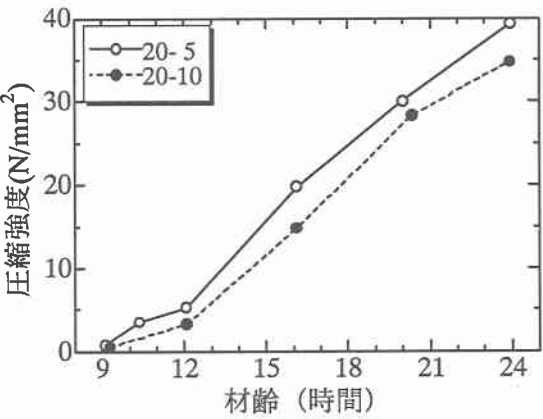
2. 1 コンクリート

本研究で使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。結合材に普通ポルトランドセメントおよびシリカフューム(SF)を用い、水結合材比(W/B)を 20 %、25 %および 30 %、シリカフューム置換率を結合材量の 0 %、5 %、10 %および 20 % とした。また、目標スランプフローを 60 cm、目標空気量を 1.5 %として配合を決定した。混和剤にはポリカルボン酸系の高性能A E減水剤(SP)を用いた。実験に用いた供試体は直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体である。

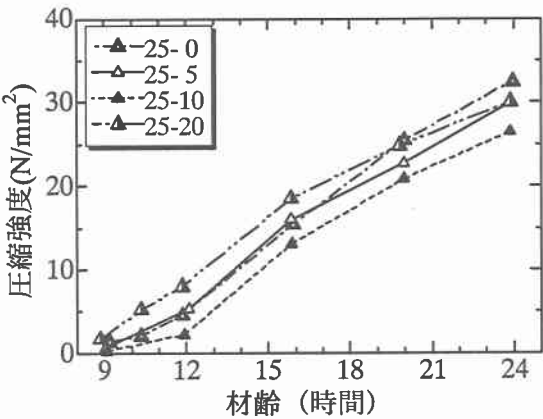
2. 2 試験方法

コンクリートの強度試験は、圧縮および引張について材齢 9、10.5、12、16、20 および 24 時間において行った。圧縮試験用の供試体中央部の軸方向および半径方向にひずみゲージを埋込み、ひずみを計測し静弾性係数およびポアソン比を算定した。また、供試体は試験開始の

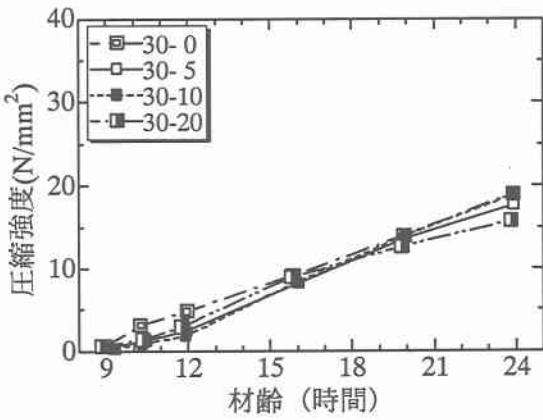
1 時間前まで温度 20 ℃に制御された恒温室内で封緘養生し、圧縮試験用の試験体は試験開始の 20 分前に石膏と直径 10 cm 厚さ 2 mm の鋼板でキャッピングを行った。引張強度は割裂引張強度試験方法により求めた。



(a) W/B=20 %



(b) W/B=25 %

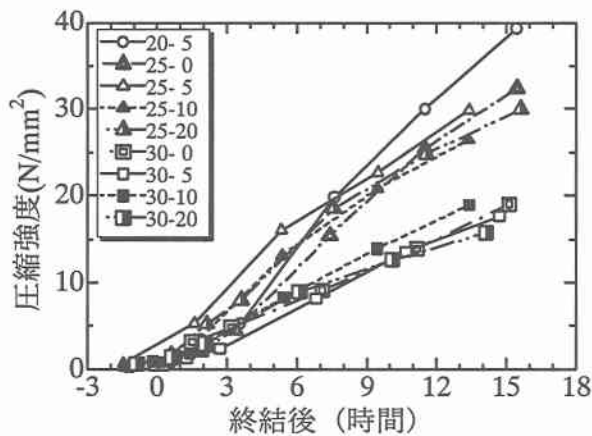


(c) W/B=30 %

表-1 コンクリートの配合

W/B (%)	SF (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
			W	C	SF	S	G	SP
20	5	41.7	140	665	35	693	955	17.5
	10			630	70	688	947	17.5
	20			560	140	677	933	11.2
25	0	41.7	140	560	0	748	1031	5.04
	5			532	28	744	1025	6.16
	10			504	56	740	1019	7.24
	20			448	112	731	1007	9.80
30	0	41.7	140	467	0	782	1076	3.50
	5			444	23	778	1072	5.14
	10			420	47	774	1066	8.41
	20			374	93	767	1057	10.3
	20			374	93	767	1057	10.3

図-1 材齢と圧縮強度の関係



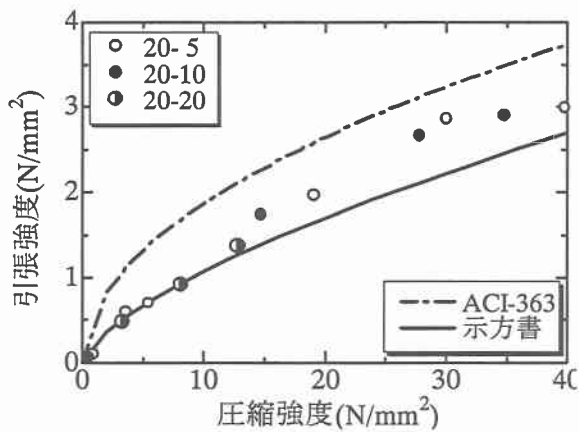
図一 2 終結後の時間と圧縮強度の関係

3. 試験結果および考察

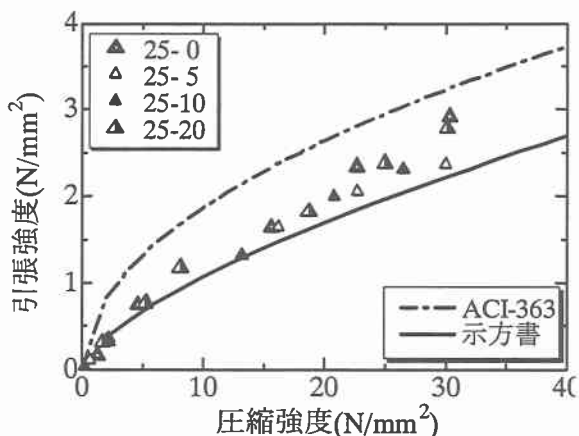
3. 1 強度

図一 1 は、材齢と圧縮強度の関係を示している。水結合材比 20 % では、強度は材齢 9 時間以後に増加が始まり、材齢 12 時間から増加率が大きくなる。材齢 24 時間で圧縮強度は 40 N/mm² 程度になっている。また、シリカフューム置換率が小さいほど強度は大きいことがわかる。水結合材比 25 % の場合には、シリカフューム置換率 20 % の強度のみ材齢 9 時間以降から直線的に増加しているが、その他の置換率では材齢 12 時間までの増加率は小さく、その後、強度は直線的に増加し材齢 24 時間で 30 N/mm² 程度となっている。シリカフューム置換率 20 % を除いて、材齢 16 時間以降における強度は、シリカフューム置換率が小さいほど大きくなっていることがわかる。水結合材比 30 % では、強度は材齢 9 時間以降からほぼ直線的に増加し、材齢 24 時間では 20 N/mm² 程度になっている。また、シリカフューム置換率が強度発現に与える影響は小さいことがわかる。図一 2 は、終結後の時間と圧縮強度の関係を示している。終結後 3 時間までは、水結合材比あるいはシリカフューム置換率による強度発現の差はあまり見られない。終結後 3 時間以降になると、水結合材比ごとで強度増加率がほぼ一定になっており、シリカフューム置換率が強度発現に与える影響は少なく、終結後の時間と圧縮強度は水結合材比ごとで定まった関係があるといえる。

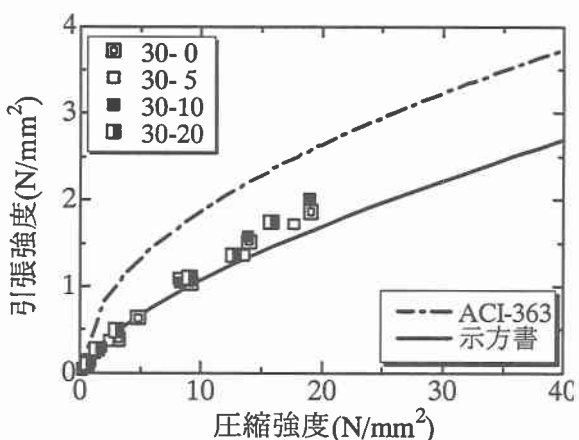
図一 3 は、圧縮強度と引張強度の関係を示している。図中の実線は、圧縮強度の適用範囲が 20~50 N/mm² 程度である土木学会コンクリート標準示方書¹⁾の式、一点鎖線は ACI-363 の式²⁾である。本試験結果と示方書の関係を比較すると、水結合材比 20 % では圧縮強度が 10 N/mm² まではよく一致しているが、強度が大きくなったがい実験値は予測値より大きくなっていることがわかる。水結合材比 25 % の場合では、圧縮強度が 15 N/mm² まではよく一致しているが、強度が大きくなるにしたがい実験値は予測値と比べ若干大きくなっている。水結合材比 30 % では圧縮強度が 15 N/mm² まではよく一致しているが、強度が大きくなるにつれて実験値は予測値よ



(a) W/B=20 %



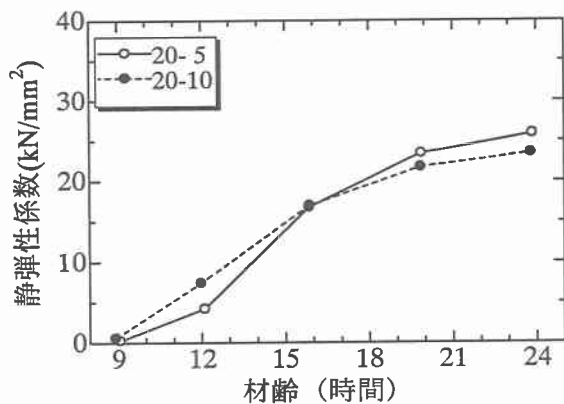
(b) W/B=25 %



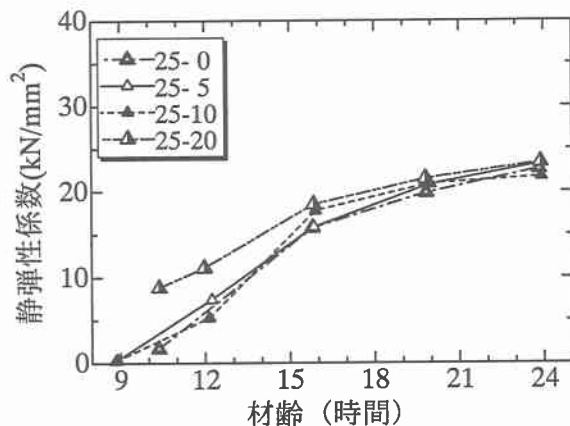
(c) W/B=30 %

図一 3 圧縮強度と引張強度の関係

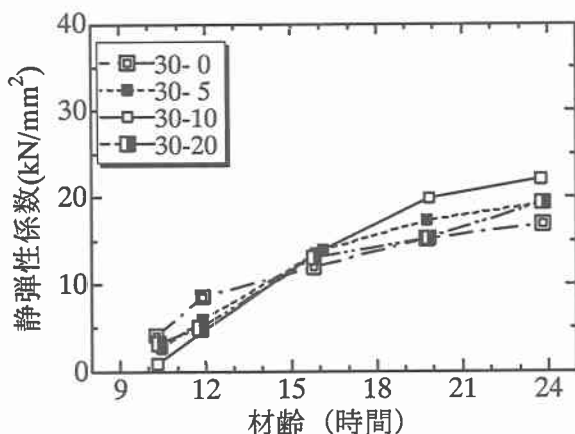
り若干大きくなっているといえる。次に、本試験結果と ACI-363 式を比較すると、すべてのケースにおいて実験値は ACI-363 式を下回っていることがわかる。



(a) W/B=20 %



(b) W/B=25 %

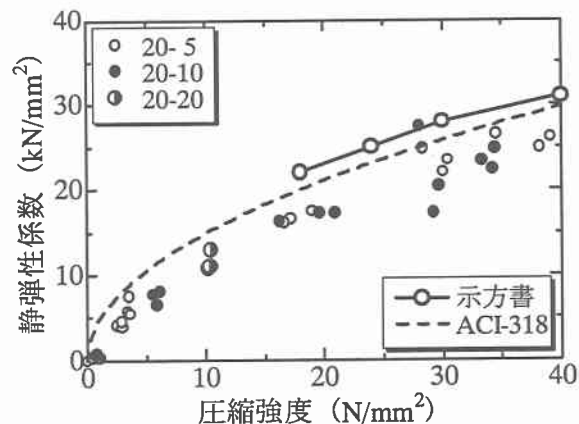


(c) W/B=30 %

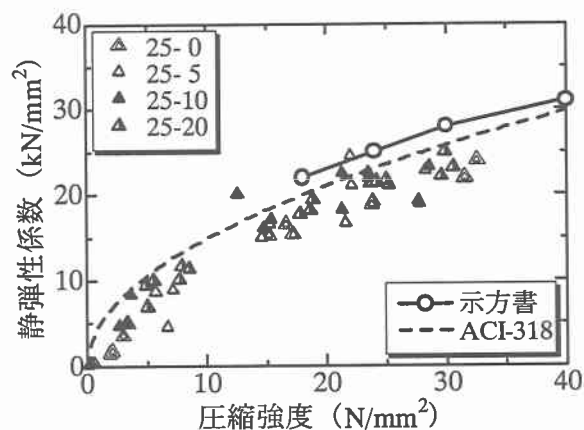
図一4 材齢と静弾性係数の関係

3. 2 静弾性係数

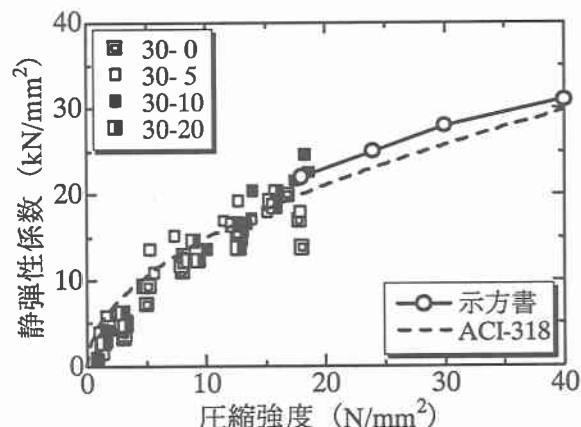
図一4は、材齢と静弾性係数の関係を示している。水結合材比 20 %では、静弾性係数は材齢 12 時間から 16 時間の間で増加率が最大となり、その後は徐々に増加している。材齢 20 時間以降ではシリカフューム置換率が小さいほど静弾性係数は大きくなっている。水結合材比 25 %の場合は、静弾性係数は材齢 16 時間までに増加率は最大となり、その後は緩やかに増加している。シリカフューム置換率 20 %を除いたケースは、同様な挙動にな



(a) W/B=20 %



(b) W/B=25 %



(c) W/B=30 %

図一5 圧縮強度と静弾性係数の関係

っている。材齢 24 時間の静弾性係数は、シリカフューム置換率によらずほぼ等しくなっていることがわかる。水結合材比 30 %では、静弾性係数の増加率は材齢 16 時間までで最大となり、その後は徐々に増加している。また、水結合材比が小さいほど静弾性係数は大きくなっていることがわかる。

図一5は、圧縮強度と静弾性係数の関係を示している。図中の実線は土木学会コンクリート標準示方書¹⁾に示されている普通コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関

係で、破線は ACI-318 式³⁾である。本試験結果と示方書
 の関係を比較すると、水結合材比 20 %および 25 %では
 実験値は予測値より 5 kN/mm² 程度小さいことがわかる。
 次に、実験値と ACI-318 式とを比較すると、水結合材比
 20 %では ACI-318 式より 3~4 kN/mm² 小さいが、曲線
 形状はよく似ている。水結合材比 25 %の場合では、実験
 値は ACI-318 式より 2 kN/mm² 程度小さくなっている。
 また、水結合材比 30 %では圧縮強度が 20 N/mm² までは
 よく一致しているといえる。以上から、同程度の強度で
 あっても、水結合材比が大きくなるにしたがい静弾性係
 数も大きくなる傾向があるといえる。また、水結合材比
 が大きいほど実験値と ACI-318 式の値が一致するとい
 える。

3. 3 ポアソン比

図一6は、圧縮強度とポアソン比の関係を示している。
 水結合材比 20 %では、ポアソン比は強度の大きさに関係
 なく 0.15 から 0.40 の間に存在し、平均するとポアソン
 比は 0.25 程度である。水結合材比 25 %の場合では、ポ
 アソン比は強度の大きさによらず、0.15 から 0.40 の間
 にあり、平均するとポアソン比は 0.25 程度である。シリ
 カフューム置換率に着目すると、シリカフューム置換率
 0 %のポアソン比は比較的小さい値となっていることが
 わかる。ポアソン比のばらつきを見ると、シリカフュー
 ム置換率 5 %が一番大きく、シリカフューム置換率 10 %
 が一番小さくなっている。水結合材比 30 %では、ポア
 ソン比は 0.10 から 0.30 の間にあり、全体的にばらつきが
 多く、平均するとポアソン比は 0.20 程度である。シリカ
 フューム置換率に着目すると、シリカフューム置換率
 0 %のポアソン比のみ比較的小さく 0.20 以下のものが多
 い。同程度の強度に着目すると、水結合材比が大きくな
 るにつれてポアソン比のばらつきは大きくなっているとい
 える。

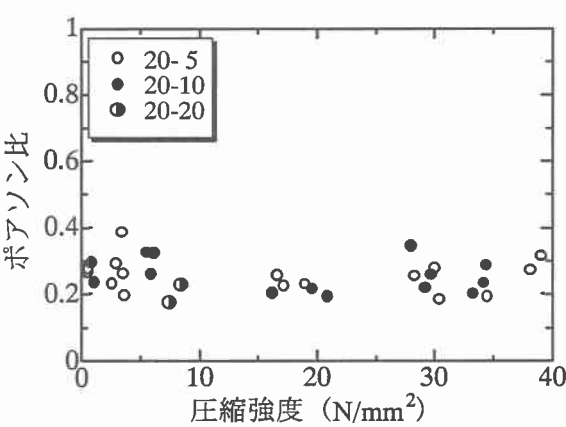
4. まとめ

材齢 1 日までを対象としたシリカフュームを用いた高
 強度コンクリートの強度特性について、次のことが明ら
 かになった。

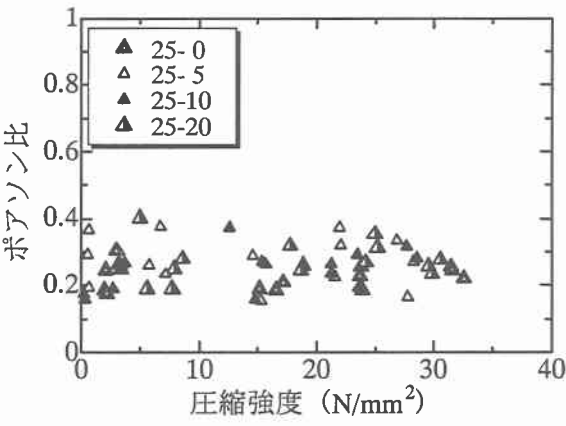
- 1) 終結後に対する圧縮強度は、終結後 3 時間までは水
 結合材比あるいはシリカフューム置換率による強度
 発現の差は見られない。終結後 3 時間以降になると、
 水結合材比ごとで強度増加率がほぼ一定になる。
- 2) 圧縮強度に対する引張強度は、圧縮強度が 15
 N/mm² 以下で土木学会の式で予測可能である。
- 3) 圧縮強度に対する静弾性係数の値は、水結合材比が
 大きくなるにしたがい大きくなる。また、水結合材
 比 30 %の場合では ACI-318 式とよく一致する。
- 4) ポアソン比は、水結合材比 20 %および 25 %では約
 0.25 程度、水結合材比 30 %では約 0.20 程度である。

参考文献

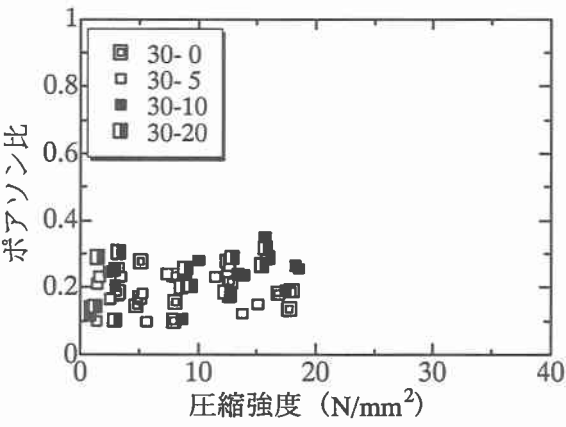
- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編
- 2) ACI 363 : State of the Art Report on High
 Strength Concrete, ACI Journal / July - August ,



(a) W/B=20 %



(b) W/B=25 %



(c) W/B=30 %

図一6 圧縮強度とポアソン比の関係

1984

- 3) ACI 318 : Building Code Requirements on
 High-Strength Concrete and Commentary,
 American Concrete Institute,U.S.,1992