

高強度コンクリートの圧縮強度早期判定法

立山 創一* 安部 弘康*

Studies on a Test Method to Estimate the Strength of High-strength-concrete Created by a Rapid-hardening Process

by Souichi TATEYAMA and Hiroyasu ABE

Abstract

This report presents a means of testing in order to estimate the strength of High-strength-concrete created by a rapid-hardening process. Steam-curing at 80°C made it possible to judge strength by mixing the silicic acid sodium with wet-screening mortar, hence enabling a means of testing to estimate the strength of high-strength-concrete created by a rapid-hardening process.

要 旨

高強度コンクリートの圧縮強度の判定を、練り混ぜ後約 1 時間程度で判定する方法について建築学会で提案されている急速硬化強度試験方法によって実用化を検討した。その結果、ケイ酸ナトリウムを混合したウェットスクリーニングモルタルを 80°C で蒸気養生することによって 4 週の圧縮強度を推定可能な強度が得られることが判明した。これによって、高強度コンクリートの圧縮強度を極早期に判定する方法の実用化に目処がついた。

キーワード：圧縮強度／急速硬化／蒸気養生／ケイ酸ナトリウム／ウェットスクリーニング

1. はじめに

コンクリート強度を早期に判定することは、工事中において強度不足が発生した場合に、迅速な対応を可能とするなど、多くのメリットがある。

特に、今回の方法は試験開始から約1時間で結果が判明するので、運搬及び待機中に結果が判明し、強度不足のコンクリートを打設すること無く、工事を進めることも可能となる。

コンクリート強度の早期判定に関して、これまでは普通強度のコンクリートに関する研究 [1] はあったが、最近、高層住宅で使用されるようになってきた高強度コンクリートに関しての研究は見当たらない。

ない。

そこで、建築学会で提案されている、判定時間が1時間程度で済む「急速硬化強度試験法」[2] によって高強度コンクリートの強度判定が可能であるかを検討した。

本研究は、高強度コンクリートの場合に使用する、急結性薬剤の選定および高強度コンクリートへの適用性に関して述べたものである。

初めにモルタルによる急結性薬剤の選定に関して述べ、次に高強度コンクリートへの適用性に関して述べている。

* 技術研究所材料施工グループ

2. モルタルによる急結性薬剤の選定

2.1 使用材料

表1に、使用材料を示す。今回選定の対象とした薬剤は試薬とした。これは、市販の急結性薬剤の場合、製造中止や成分の変更等が実施された場合、方法自体が成立しなくなる可能性があるからである。

対象とした試薬は炭酸カルシウム、アルミン酸ナトリウム、ケイ酸ナトリウムの3種類である。

表1 使用材料

区分	銘柄・品質
セメント	普通ポルトランドセメント，密度：3.16g/cm ³ （三菱マテリアル社製）
細骨材	掛川産川砂，表乾密度2.60g/cm ³ ，吸水率1.72%，粗粒率2.74
減水剤	AE減水剤：リグニンスルホン酸塩，オキシカルボン酸塩
急結性薬剤	炭酸カルシウム
	アルミン酸ナトリウム
	ケイ酸ナトリウム

2.2 測定項目および測定方法

表2に、測定項目および測定方法を示す。

表2 測定項目および測定方法

測定項目	測定方法
0打フロー	JIS R 5201のフローコーンを使用し，落下運動を与えないで測定
単位容質量	上記フローコーンにて測定
1,2時間圧縮強度	4×4×16cm供試体の真ん中1本に詰め，2回の圧縮強度試験を実施

2.3 調査

表3 調査

記号	W/C (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			急結性薬剤 C×%
			水	セメント	砂	
炭-1-50	50	2.0	305	610	1253	1
炭-10-50	50	2.0	305	610	1253	10
ア-10-40	40	2.0	305	763	1128	10
ア-10-50	50	2.0	305	610	1253	10
ア-10-60	60	2.0	275	458	1456	10
ア-2-40	40	2.0	305	763	1128	2
ア-2-50	50	2.0	305	610	1253	2
ア-2-60	60	2.0	275	458	1456	2
ケ-10-40	40	2.0	305	763	1128	10
ケ-10-50	50	2.0	305	610	1253	10
ケ-10-60	60	2.0	275	458	1456	10
ケ-5-40	40	2.0	305	763	1128	5
ケ-5-50	50	2.0	305	610	1253	5
ケ-5-60	60	2.0	275	458	1456	5
ケ-2.5-50	50	2.0	305	610	1253	2.5
ケ-7.5-50	50	2.0	305	610	1253	7.5
混-5-50	50	2.0	305	610	1253	5
混-5-60	60	2.0	275	458	1456	5

減水剤添加率はC×1.0% で一定。

表3に、調査を示す。表中の記号の左の文字は急結性薬剤の種類を示す。

炭→炭酸カルシウム，ア→アルミン酸ナトリウム，ケ→ケイ酸ナトリウム，混→炭酸カルシウム：アルミン酸ナトリウム：ケイ酸ナトリウム=2.0:0.5:7.5の比率で混合した薬剤。

真ん中の数字はセメントに対する添加率(%)を，右の数字は水セメント比(%)を示す。

2.4 試験手順

試験の手順は以下のとおり。

①モルタルの練り混ぜ②フロー試験③急結性薬剤の混合④試験体の作成⑤試験体作成5分後に80℃蒸気養生開始⑥1時間の養生後，直ちに圧縮試験を実施

モルタルの練り混ぜおよび急結性薬剤の混合は，JIS R 5201にあるモルタルミキサーを用いて行った。練り量は1リッターとした。練り混ぜは以下の方法で行った。

〔練り混ぜ方法〕

砂+セメント→空練り 30秒→水(減水剤)投入→低速 30秒→掻き落とし→高速 120秒→排出

試験体は1層詰めとし，蒸気養生は80℃の設定で養生を実施した。

本報告，全ての練り混ぜおよび試験体の作成は，恒温恒湿室（気温20℃，湿度65%）で行った。

2.5 結果および考察

a. 急結性薬剤の検討

図1に各種急結性薬剤の1および2時間での圧縮強度の結果を示す。

これによると，炭酸カルシウムは添加率をセメント量の10%まで増加した2時間養生においても，強度の発現は認められず，本方法用の薬剤として使用できないことが判った。

アルミン酸ナトリウムは，蒸気養生中に膨張し強度の発現も小さく，急結性薬剤としては不適であった。

ケイ酸ナトリウムは添加率10%では強度の発現性は良好であったが，水セメント比50%と60%の差が小さく，強度判定に関しては好ましくない傾向であった。添加率5%の方は，強度発現性も良好で水セメント比による強度差も明確であり，本方法用としての急結性薬剤に最も適していると思われた。

炭酸カルシウム：アルミン酸ナトリウム：ケイ酸ナトリウム=2.0:0.5:7.5の比率で混合した薬剤も，

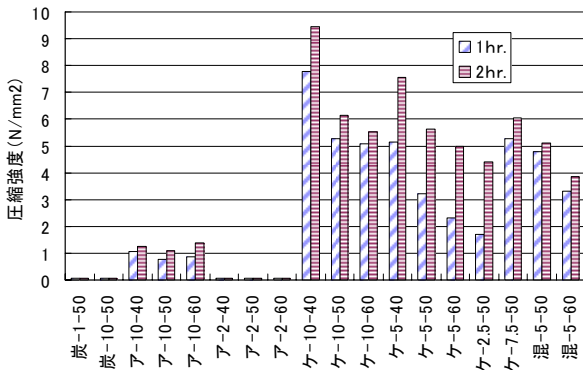


図1 各種急結性薬剤と圧縮強度

ケイ酸ナトリウムと同様な結果を示した。

これらの結果より、急結性薬剤としては取り扱いが簡単な1種類の薬剤であるケイ酸ナトリウムを選定することとし、高強度コンクリートへの適用性を検討した。

b. 養生時間の検討

図1にあるように、1時間養生に比べると2時間養生の方が発現強度は大きい。しかし本方法の特徴である極短時間での判定と言うことを考慮し、1時間養生でも十分な強度が得られていることから、養生時間は1時間とした。

3. 高強度コンクリートへの適用性の検討

中庸熟ポルトランドセメント（以下、Mセメントと略記）および低熱セメントにシリカフェームをプレミックスしたセメント（以下、SFCと略記）を使用して高強度領域でのケイ酸ナトリウムの適用性を検討した。

3.1 試験概要

使用材料を表4に示す。

表4 使用材料

区分	銘柄・品質
セメント	Mセメント, 密度3.21g/cm ³ SFC, 密度3.08g/cm ³ (両種類とも三菱マテリアル社製)
細骨材	掛川産川砂, 表乾密度2.58g/cm ³ , 吸水率2.03%, 粗粒率2.69
減水剤	高性能AE減水剤: ポリカルボン酸塩系化合物 高性能減水剤: ポリカルボン酸塩系化合物
急結性薬剤	ケイ酸ナトリウム

高性能 AE 減水剤は M セメントに使用。高性能減水剤は SFC に使用。

練り混ぜは以下の方法で行った。

[練り混ぜ方法]

- 水セメント比 30%以上
砂+セメント→空練り 30 秒→水(減水剤)投入→低速 30 秒→掻き落とし→高速 120 秒→排出
 - 水セメント比 28,24,22%
砂+セメント→空練り 30 秒→水(減水剤)投入→低速 90 秒→掻き落とし→高速 120 秒→排出
 - 水セメント比 18%
砂+セメント→空練り 30 秒→水(減水剤)投入→低速 120 秒→掻き落とし→高速 120 秒→排出
- 試験手順は前節「2.4 試験手順」と同様である。表 5 に調合を示す。

表5 調合

記号	W/C (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			減水剤* C×%
			水	セメント	砂	
M-24	24	2.0	249	1038	1052	1.60
M-30	30	2.0	249	830	1219	1.40
M-37	37	2.0	249	673	1345	1.20
SFC-18	18	2.0	213	1183	988	1.40
SFC-22	22	2.0	213	968	1168	1.20
SFC-28	28	2.0	213	761	1342	1.00

*: 減水剤は M セメントは高性能 AE 減水剤を、SFC は高性能減水剤を使用

3.2 結果および考察

図 2 に各調合の強度発現の結果を示す。

これより、養生時間 0.5 時間は判定時間の短縮は可能となるが、強度発現が小さく、強度の推定精度に問題が残ると考えられた。

1 時間養生の方は、M セメントの水セメント比 37%でも 10N/mm² 以上の強度発現があり、強度判定に十分な強度が得られていると言えよう。

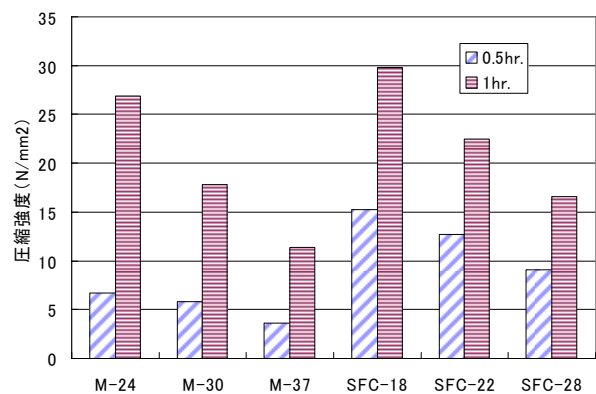


図2 各調合の強度発現

図3にセメント水比と1時間養生圧縮強度の関係を示す。

これから判るとおり、MセメントでもSFCの場合でも、セメント水比と1時間圧縮強度の間の相関は高く、相関係数で示すとMセメントで1.000、SFCで0.997となっている。

セメントによって関係式が相違することの主要因は、使用した減水剤の減水性能の差異がモルタルの凝結に最も影響を与えたためと考えられる。

養生時間が0.5時間では図2でも述べたように、セメントの種類によって関係に差異が認められないため、判定は困難となる。

以上のことより、ケイ酸ナトリウムを混合し、80°Cの蒸気養生を1時間行うことによって、高強度コンクリートの圧縮強度を、約1時間で判定することが可能であることが判った。

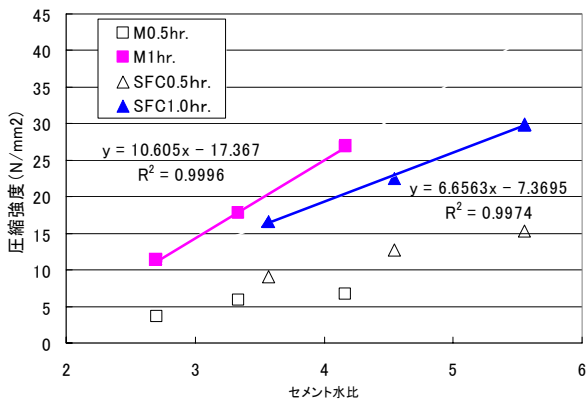


図3 セメント水比と1時間養生圧縮強度

4. コンクリートによる検討

4.1 試験概要

a. 使用材料

表6に、使用材料を示す。

表6 使用材料

区分	銘柄・品質
セメント	Mセメント、密度3.21g/cm ³ (三菱マテリアル社製)
細骨材	掛川産川砂、表乾密度2.58g/cm ³ 、吸水率2.03%、粗粒率2.69
粗骨材	青梅産硬質砂岩砕石、表乾密度2.67g/cm ³ 、吸水率0.46%、粗粒率6.74
減水剤	高性能AE減水剤：ポリカルボン酸塩系化合物
急結性薬剤	ケイ酸ナトリウム

b. 測定項目および測定方法

モルタルは「2.2 測定項目および測定方法」と同じである。

コンクリートの測定項目を、表7に示す。

表7 測定項目および測定方法

測定項目	測定方法
スランプフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
コンクリート温度	アルコール棒状温度計
圧縮強度	JIS A 1108 材齢：1週、4週

c. 調合

表8に、調合を示す。

表8 コンクリートの調合

W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				高性能AE減水剤 (C×%)
		水	セメント	砂	砕石	
24	45.1	165	687	699	881	1.80
30	48.8	165	549	810	881	1.50
37	51.2	165	446	893	881	1.30

空気量：2%、スランプフロー：60cm

d. 試験手順

試験の手順は以下のとおり。

- ①コンクリートの練り混ぜ②スランプフロー、空気量の測定③機械式ウェットスクリーニングによってモルタルの採取（同時にコンクリートの強度用試験体の作成）④モルタルへケイ酸ナトリウムの混合⑤試験体の作成⑥試験体作成5分後に蒸気養生開始⑦1時間養生後直ちに圧縮試験を実施

（ケイ酸ナトリウムの混合は練り匙と練鉢を使用）

コンクリートの練り混ぜは100リッターのパン型ミキサを用いて以下の方法で行った。練り量は30リッターである。

〔練り混ぜ方法〕

- ・水セメント比24%
- 砂+セメント→空練り10秒→水（高性能AE減水剤）投入→120秒練り混ぜ→掻き落とし→砕石投入→60秒練り混ぜ→5分静置→30秒練り混ぜ→排出
（30%は水投入後の練り混ぜは90秒、37%は60秒）

4.2 試験結果および考察

a. フレッシュ性状

表9にフレッシュ試験の結果を示す。

表9 フレッシュ試験結果

記号	スランプフロー (cm)	50cmフロー時間 (秒)	停止フロー時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
M-24	56.5×55.5	8.4	28.5	1.4	22.0
M-30	62.5×60.5	5.5	28.7	1.1	21.5
M-37	62.5×61.0	5.3	29.1	1.0	21.0

全ての調合とも、目標のスランプフロー、空気量を満足した。

b. 硬化性状

図4にセメント水比とコンクリートからウエットスクリーニングしたモルタルの1時間圧縮強度の関係を示す。

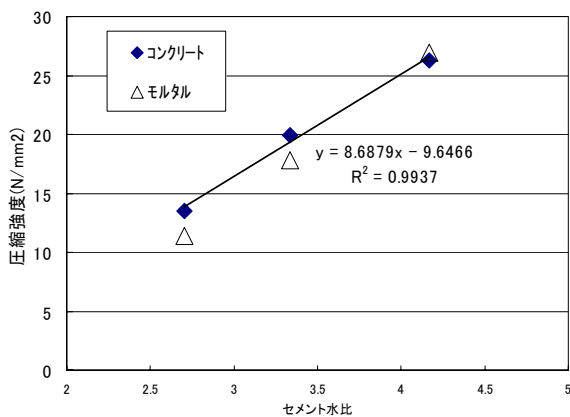


図4 セメント水比と1時間圧縮強度

これから判るように、セメント水比と1時間圧縮強度の間には相関係数で0.994という高い相関が認められた。

また、両者の関係は、モルタルによる実験の時とほぼ同様であり、コンクリートからウエットスクリーニングしたモルタルによって、コンクリートの4週圧縮強度を推定できることを示している。

図5にモルタルの1時間強度と標準養生した4週強度の関係を示す。

両者の間には相関係数で0.993という高い相関が認められた。この結果より、ウエットスクリーニングしたモルタルの1時間強度によって、4週強度の推定が十分可能であることが示された。

また、関係式の傾きは2.82であり、1時間養生したモルタル強度が1N/mm²変動することによって、推定コンクリート強度が約3N/mm²変わることが判る。

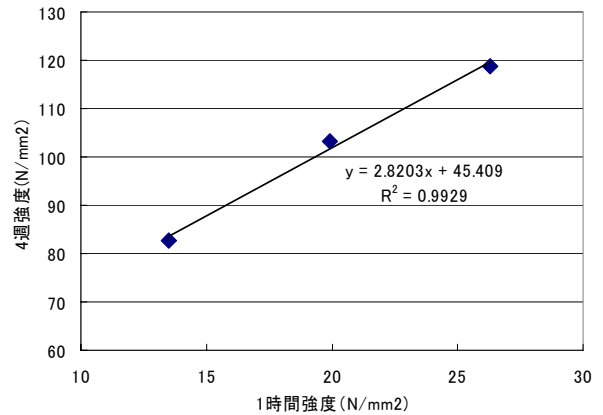


図5 1時間強度と4週強度

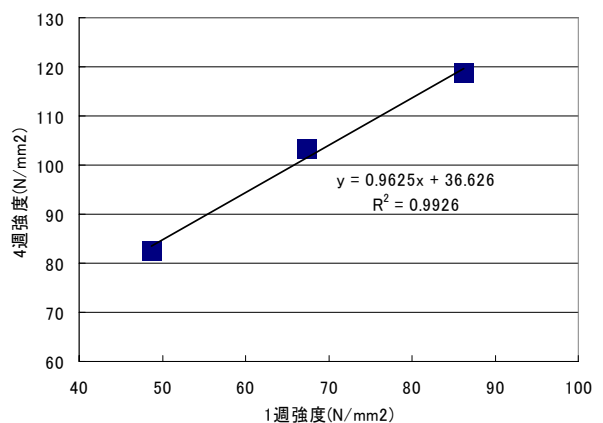


図6 1週強度と4週強度

図6に標準養生した1週強度と4週強度の関係を示す。

1週強度と4週強度の間にも相関係数で0.993という高い相関が認められる。

4週強度との関係をウエットスクリーニングしたモルタルの1時間強度と1週強度で比較すると、両者とも4週強度との相関係数は0.993と等しい。言い換えれば、ウエットスクリーニングしたモルタルの1時間強度によって、1週強度から4週強度を推定するのと同程度の精度で、4週強度を推定することが可能であることを示している。

5. まとめ

以上の結果をまとめると、以下のようなものである。

- 1)本方法において、急結性薬剤には「ケイ酸ナトリウム」が適していた。
- 2)80°C蒸気養生 30分では強度の発現が不十分である。
- 3)80°C蒸気養生 1時間強度は、強度推定に十分な強度発現があり、セメント水比にも比例した。

- 4)セメント水比と1時間強度の関係は、セメントの種類によって異なる。したがって、セメント種類ごとに関係を求める必要がある。
- 5)ウエットスクリーニングしたモルタル強度とモルタル強度は、ほぼ同じであった。
- 6)1週強度による材齢4週強度の推定と、1時間強度による推定はその精度がほぼ等しいと考えられる。
- 7)高強度コンクリートにおいて、コンクリートから採取したウエットスクリーニングしたモルタルにケイ酸ナトリウムをセメント量の5%を混合し、80°Cで蒸気養生を1時間行うことによって、材齢4週の標準養生圧縮強度を推定することが可能である。

今後は、コンクリートの練り上がり温度の影響、1時間強度自体のバラツキ等を検討し、本方法の実用化を推進したいと考える。

また、現在、施工中の超高層集合住宅の現場における高強度コンクリートに試験的に適用し、各種データの収集を行う予定である。

謝辞

今回の実験を実施するに当たり、(株)フローリック、(有)TRD、関東宇部コンクリート工業(株)豊洲工場ならびに技術センターの皆様に、多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1]池田尚治：急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法に関する研究，土木学会論文報告集，第255号，pp.103-112，1976.11
- [2]日本建築学会：コンクリートの早期迅速試験方法集，8.2 まだ固まらないコンクリートの硬化後の強度推定のための急速硬化強度試験方法（案），pp.86-93，1985.5