

コンクリート強度即時判定方法の実用化に関する研究

STUDIES TOWARD A PRACTICAL USE OF THE METHOD OF IMMEDIATE
ESTIMATION OF CONCRETE STRENGTH

池田 尚 治*

By Shoji IKEDA

1. 結 言

急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法は、フレッシュコンクリートをウェットスクリーニングして得たモルタルに急結剤を添加し、ただちにこれを高温で養生して急速にセメントの水和による強度を発現させ、その強度試験結果からフレッシュコンクリートの材令28日強度を推定するものである¹⁾²⁾。種々の実験の結果、この方法を用いることによって材令1.5時間程度のうちにフレッシュコンクリートの材令28日強度を相当の精度で推定することができた。しかし、この方法がコンクリート強度の迅速判定方法として確立し、実用的な方法として広く受け入れられるためには多数の実例による検証、問題点の摘出とその解決、工事現場への適用の方法などに関する研究の積み重ねが必要と思われる。

本文はこのような趣旨に基づき、急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法に関し、各種セメントおよび混和材料の影響、現場試験のための試験機器の試作、現場実験による本方法の適用性の検討、セメントの風化の影響とこれを改善するための急結剤の改良、種々の配合のコンクリートの強度推定とその精度の検証、および本方法によるコンクリート強度の迅速検査システムの検討などについて研究を行った結果を述べるものである。なお、「急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法」を、以下に「急速硬化判定方法」とよぶことにする。

2. 各種セメントおよび混和材料の影響

セメントには各種のものがあ、また種類が

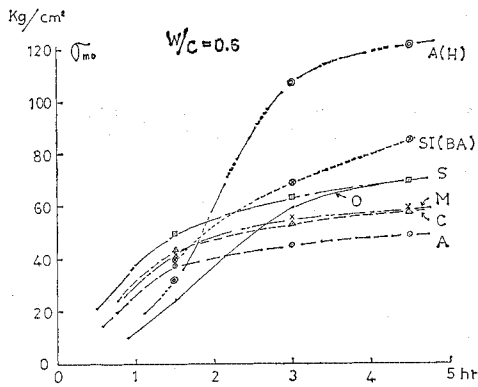
同一でも銘柄によって強度発現の相当に異なるものもある。急速硬化によるモルタルの強度はセメントの水和によって発現するものであるため、セメントの特性に影響を受けることは当然である。そこで入手可能であった市販のセメントについて急結剤と高温養生との組合せによる急速硬化特性を調べることにした。ただし、厳密な意味で各種のセメントの急速硬化特性を調べようとすると、セメントの保管状態や鮮度、セメントのロット、砂の表面水と粒度のばらつきなども影響することになり、実験条件を相当に厳密にすることが必要である。しかし、ここでは実験室で通常取り扱われる状態で試験を行った。このため、得られた値は、セメントの種類および銘柄に対する絶対的な値ではなく、たまたま行った試験

表-1 各種セメントの急速硬化特性

W/C	S/C	セメントの銘柄または種類	フロ	圧縮強度 σ_{m0} (kg/cm ²)				備 考
				1.5 hr	3.0 hr	4.5 hr	5.5 hr	
0.45	1.81	O	217	43	61	95	—	(F.M.=2.64) わずかに風化したセメント
		A	215	51	71	81	—	
		S	219	73	95	100	—	
		C	215	78	97	106	—	
		M	207	74	93	103	—	
0.60	2.80	O	221	24	60	71	—	(F.M.=2.64) わずかに風化したセメント
		A	222	38	46	50	—	
		S	220	50	64	70	—	
		C	234	43	54	58	—	
		M	224	43	56	59	—	
0.75	3.85	O	206	0	9.4	40	53	(F.M.=2.64) わずかに風化したセメント
		A	223	6.2	32	43	—	
		S	214	16	38	47	—	
		C	213	19	39	44	—	
		M	218	20	47	53	—	
0.60	2.60	A	—	37	68	81	—	(F.M.=3.13) { () 内は S/C=2.0 の実験
		早強A	—	32 (32)	108 (88)	123 (106)	—	
		高炉A種	—	39	70	86	—	
		高炉B種	—	31	62	86	—	

- 備考 1. 急結剤は PR1 (改良以前のもの) をセメント重量の 4% 混入
2. セメントのうち特に表示のないものは普通ポルトランドセメント
3. 高温養生は 70°C 100%RH

* 正会員 工博 東京都立大学助教授 工学部土木工学科



図一 セメントの相違によるモルタルの急速硬化強度特性

(かっこ内の記号 H は早強セメント, BA は高炉セメント A 種, そのほかは普通ポルトランドセメントで表一に対応, 急結剤は PR1)

値の例であると考え方がよい。

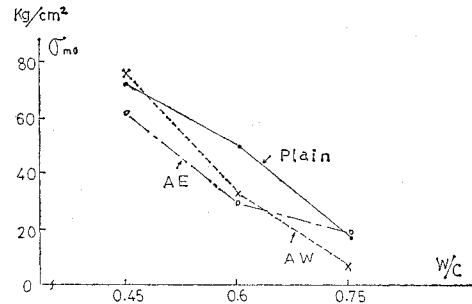
表一に種々のセメントを用いた急速硬化モルタルの強度試験結果を示す。また 図一にそのうちの一部を示す。ここに示されるように、市販されている普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントの急速硬化強度特性は、銘柄の相違によって多少差があるが、ほぼ同様の特性を持っていることが示された。ただし一部のセメントで夏期に保管期間が若干経過したものは、急速硬化による強度発現が相当に遅れることが示された。これは種々検討の結果セメントの風化が急速硬化強度特性に大きく影響していることが明らかとなった。これに関しては後の章で詳しく述べる。

早強セメントについては急速硬化 1.5 時間での強度は、普通セメントの場合よりわずかに低めであるが、急速硬化 3.0 時間では普通セメントより若干大きくなる傾向が見られた。

また高炉セメントの急速硬化強度は普通セメントとほとんど同じであり、A 種、B 種の違いもわずかである。省資源、材料の有効な再利用等の観点から、今後高炉セメントが多く使用されるようになって、急速硬化判定方法を高炉セメントを用いたコンクリートの強度判定に用いて問題のないことが、この実験結果から判断できると思われる。

次に混和剤の影響であるが、すでに遅延型の減水剤に関しては、多量に減水剤が混入された場合は急速硬化モルタルも硬化せず、したがって減水剤の過剰投入を検出できること、および通常量を混入した場合にはコンクリート強度の判定にほとんど影響のないことなどの実験結果を報告した²⁾が、ここではその後代表的な AE 剤、および AE 減水剤を用いて行った実験結果を述べる。

図二に示すように、通常の使用状態では、AE 剤お



図二 混和剤がモルタルの急速硬化強度特性に及ぼす影響

(AW は AE 減水剤, AE は AE 剤, 用いたセメントは S, 急結剤は PR1, 高温養生 1.5 時間)

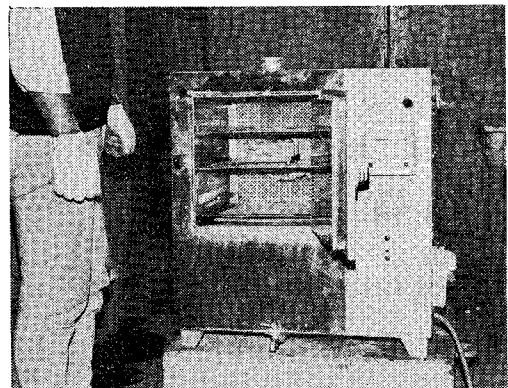
よび AE 減水剤を混入したモルタルの急速硬化強度は極端な影響を受けず、強度がプレーンモルタルに比べて小さくなる場合のあるのは、空気泡が多く混入された影響によるものと考えられる。このように、AE コンクリートあるいは減水剤混入のコンクリートに急速硬化判定方法を適用するにあたって、特別な問題点はないものと思われた。

なお、ここで用いた急結剤はアルミン酸ソーダを主成分とする市販の急結剤（以下 PR1 とよぶ）である。

3. 現場試験機器の試作

急速硬化判定方法が実用化し、普及するためには、コンクリート工事現場あるいはレデーミクストコンクリート工場で簡単に試験できる試験機器の開発が必要である。そこで、運搬が容易で経済的な試験機器を開発することとした。

恒温恒湿装置としては、型枠が同時に 3 個収容できるように内容積を 300×300×300 (mm), とし、内部が一樣な温度を保つようにファンを取り付けた。加熱方法としては、タンク内の水を加熱し、この蒸気が室内を循環



写真一 試作した恒温恒湿装置とその内部

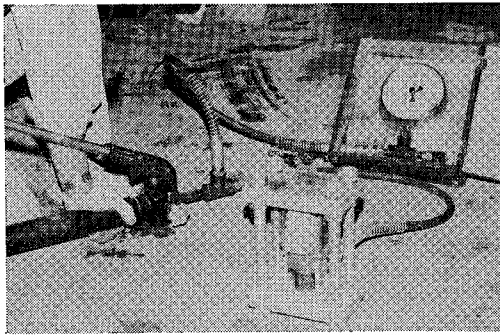


写真-2 試作した圧縮試験機一式
(手動油圧ポンプ、載荷フレームおよび圧力計より構成されており、載荷フレーム中に供試体がセットされているところ)

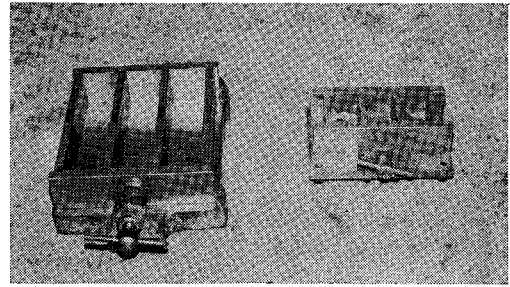


写真-3 供試体作製用型枠
(左は JIS R 5201 の 3 連型枠、右は試作した 10 cm² × 5 cm 寸法の専用 3 連型枠)

する間接方式とし、電源入力の自動 ON, OFF によって一定温度が保持できるようにした。湿度については、発生する水蒸気によって湿度がほぼ 100% を保つようにした。写真-1 に試作した恒温恒湿装置を示す。

圧縮試験機としては、経済性、簡便性を考え、写真-2 に示すように手動式油圧ポンプに接続された小型ジャッキを載荷フレームに挿入する型式とした。荷重の表示には、はじめ油圧ポンプにマンメーターを直接取り付け使用したが、加圧時および破壊時の振動などによりマンメーターの置き針が動きやすいので、写真のようにマンメーターを独立した箱に収め、ホースで油圧ジャッキと接続した。

型枠については一般性のあること、および精度のよいことなどを考えて、JIS R 5201 に規定されているセメント試験用の 3 連型枠の中央に仕切板を入れて用いることとした。

なお、多くの実験の結果、型枠をさらに小型にすれば養生時間をいっそう短くできることが考えられること、および、中央に仕切板を入れて供試体を作製するのがやや面倒なことなどの理由により、この方法のための専用の型枠の試作も行った。供試体は骨材の最大寸法が 5 mm のモルタルであるため、供試体寸法としては断面が 3 cm × 3 cm 程度でも十分であると思われたので、荷重の値が即座に応力度に換算できるように載荷面積がちょうど 10 cm² となる大きさ、すなわち $\sqrt{10} \text{ cm} \approx 3.162 \text{ cm}$ を 2 辺とし、長さを 5 cm とする直方体を考えた。供試

体を立方体としない理由としては、成形時に隅の部分に欠点ができやすいからである。写真-3 に試作した型枠を示す。この専用型枠を用いて高温養生 1.5 時間で急速硬化モルタルを試験した結果、試験値のばらつきもきわめてわずかで、4 cm × 4 cm 供試体による値とほとんど同一であった。供試体が小型になれば恒温恒湿装置や圧縮試験機も小型軽量化することができ、また、採取するコンクリート試料も少なくなるので、種々の点で有利である。

ただし、試作した載荷面積 10 cm² の型枠は試作してから日を経っていないため、この論文で掲げた実験値はすべて JIS R 5201 の 3 連型枠を用いて作製した供試体による実験結果である。

4. 現場実験

本方法の実際の工事現場への適用性、および試作した現場試験機器の使用性の検討を行うため、高速道路建設工事現場において現場品質検査実験を実施した³⁾。

現場実験は夏期に 4 日間連続して行い、その間、強度推定直線作成用の急速硬化モルタルの実験、8 台のレデーミクストコンクリート車から得た 9 試料による強度推定実験、および $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 型枠による標準養生供試体の作製などを行った。コンクリートの種類としては、表-2 に入手した配合を示すように、普通骨材コンクリート 3 種類、軽量骨材コンクリート 1 種類である。この表で、コンクリート N-3 は N-2 のコンクリート 14 kg に水 200 cc を加えて練り直したものである。コンクリート L-1 は、砂、砂利ともに非造粒型の人工軽量骨材を用いたものである。いずれのコンクリートも普通ポルトランドセメント (O)、および遅延型 AE 減水剤 (S) が用いられている。また、この現場実験に使用した急結剤は、PR 1 である。

この現場実験のための強度推定式を定

表-2 採取したレデーミクストコンクリートの示方配合

コンクリートの種類	σ_{ck} (kg/cm ²)	骨材	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C	W	C	S	G	混和剤
N-1	300	普通	25	0.456	145	318	735	1166	AE 減水剤
N-2	150	普通	25	0.673	143	212	876	1117	〃
N-3 ¹⁾	—	普通	25	0.833	171	205	847	1079	〃
L-1	350	軽量	15	0.389	168	431	390	490	〃

注 1) N-3 は N-2 のコンクリート 14 kg に水 200 g を加えて練り直したもので示方配合は N-2 を基準として算出した。

めるにあたっては、次の関係式を定めることが必要である。

まず、コンクリートの材令 28 日圧縮強度とセメント水比の関係として次式が成り立つ。

$$\sigma_{28} = k_1 \frac{C}{W} + k_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

同様に、モルタルのみを練り混ぜた場合の急速硬化モルタルの強度とセメント水比との関係として次式が成り立つ。

$$\sigma_{m0} = m_{01} \frac{C}{W} + m_{02} \quad \dots\dots\dots (2)$$

次に、ウェットスクリーニングの効果を表わす式として次式を考える。

$$\sigma_m = a_1 \sigma_{m0} + a_2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

- σ_{28} : 標準供試体によるコンクリートの材令 28 日の圧縮強度
- C/W : セメント水比
- σ_{m0} : ウェットスクリーニングしないモルタルの急速硬化圧縮強度
- σ_m : ウェットスクリーニングしたモルタルの急速硬化圧縮強度

$k_1, k_2, m_{01}, m_{02}, a_1, a_2$: 実験によって定まる定数式 (1)~(3) を用いて、コンクリート強度推定式は次式のように表わされる。

$$\sigma_{28} = \left(\frac{k_1}{a_1 \cdot m_{01}} \right) \cdot \sigma_m + \left(k_2 - \frac{a_1 \cdot m_{02} + a_2}{a_1 \cdot m_{01}} \cdot k_1 \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

図-3 は、普通コンクリートを対象とし、当該レデミクストコンクリート工場から入手したセメントを用いて行った急速硬化モルタルの $\sigma_{m0}-C/W$ の関係の実験結果である。これから最小二乗法により、図に示すよう

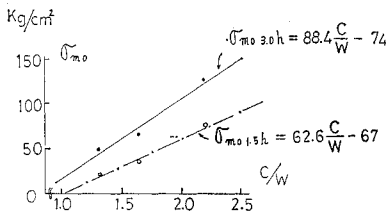


図-3 天然砂による急速硬化モルタル強度 σ_{m0} とセメント水比 C/W との関係

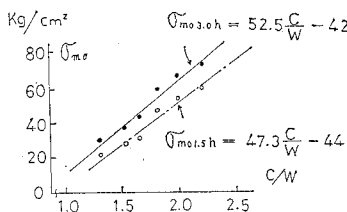


図-4 軽量砂による急速硬化モルタル強度 σ_{m0} とセメント水比 C/W との関係

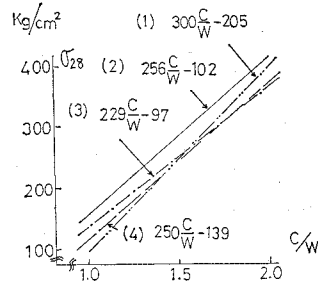


図-5 コンクリートの圧縮強度 σ_{28} と C/W との関係
(1) は都立大式 (1), (2) は都立大式 (2), (3) は首都公団式, (4) は建築学会式

表-3 コンクリートの圧縮強度 σ_{28} の推定値と実測値の比較

コンクリートの種類	コンクリートの温度 (°C)	スランブ (cm)	1.5 時間推定値 (kg/cm ²)	3.0 時間推定値 (kg/cm ²)	実測値 ¹⁾	
					(a)	(b)
N-1(1)	30	10.5	341	331	372	377
N-1(2)	—	—	316	361	366	378
N-1(3)	30	—	296	341	357	—
N-2	29	7.0	117	131	173	231
N-3	—	—	104	112	124	—
L-1(1)	—	10.0	319	350	324	—
L-1(2)	31	9.5	415	406	333	406
L-1(3)	33	10.0	368	396	285	—
L-1(4)	32	10.0	306	438	307	403

注: 1) 実測値の (a) は、水中養生開始までに 30°C 以上の室内に置かれたものもあり、(b) と供試体の取り扱いが異なる。

な関係式が求まる。図-4 は、同様に、軽量コンクリートを対象とし、軽量砂を用いて行った実験結果を示す。ここで、普通コンクリートを対象とした図-3 の実験値は、表-1 または 図-1 に示す実験値のうちの標準的な値とある程度異なった結果となっている。これは夏期のため使われたセメントが必ずしも新鮮な状態ではなかったことによるものと思われる。

強度推定式を定めるに必要な定数としては、式 (3) の a_1, a_2 および式 (1) の k_1, k_2 が必要であるが、ここでは a_1, a_2 としてこれ以前に行った実験結果¹⁾ から、それぞれ 1.02 および 32 を用いることとした。また、 k_1, k_2 については 図-5 に示す都立大式 (2) を用いることとした。

これらの定数を用いて定めた強度推定式は次のようになる。

普通コンクリートの場合：

$$\sigma_{28} = 5.31 \sigma_{m1.5h} - 34 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{(高温養生 1.5 時間の場合)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_{28} = 4.78 \sigma_{m3.0h} - 50 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{(高温養生 3.0 時間の場合)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

軽量コンクリートの場合：

$$\sigma_{28} = 4.01 \sigma_{m1.5h} + 44 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{(高温養生 1.5 時間の場合)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_{28} = 2.84 \sigma_{ms, 0h} + 21 \text{ kg/cm}^2$$

(高温養生 3.0 時間の場合).....(8)

表-3 に、これらの推定式を用いて推定したコンクリート強度、および実測した材令 28 日のコンクリート強度の比較を示す。

表-3 の中で、実測値は、標準養生の円柱供試体による材令 28 日の圧縮強度であり、(a) は成形後に現場事務所にて一時置いてから大学の養生槽に運搬したもの、(b) は現場で成形し、レードミクストコンクリートプラントで養生し、試験されたものである。(a) と (b) とでは値が相当に異なるものもあるが、これは供試体の取扱いが若干異なったこと、特に (a) の軽量コンクリートの場合は、試料採取から水中養生するまで 30°C 以上の気温中に置いたため、材令 28 日の強度が相当低めに出了ものと思われた⁴⁾。

このように、この現場実験では実測強度の値自体が、供試体の取り扱いなどの影響で値がばらついており、これと即時判定による推定値を直接比較するのはやや問題であるが、概略の傾向を知る意味で、推定値と実測値とをまとめて 図-6 に対比した。

これから明らかなように、設計基準強度 σ_{ck} が 150 kg/cm² と 300 kg/cm² ないし 350 kg/cm² のコンクリートに対し、推定値は十分その品質を区別しており、本研究の方法を現場に適用することにより、材令 1.5 時間

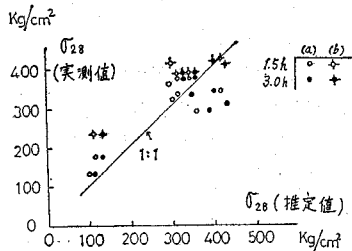


図-6 コンクリートの圧縮強度 σ_{28} の実測値と推定値との比較

程度でフレッシュコンクリートの品質判定を容易に行うことが可能であることが示された。なお、図-4 に示されたように、軽量モルタルの急速硬化による強度発現特性は 図-3 の普通モルタルの場合と若干異なっているが、これは試料を重量で計量したため相対的に急結剤の量が少なくなったこと、軽量細骨材中の空隙が高温養生の際に供試体内部の温度上昇に影響を及ぼしたことなどの原因によるものと思われる。

試作した現場試験機器の使用、および軽量コンクリートの強度判定など、この現場実験において初めて経験したことが多くあったにもかかわらず、本方法によるコンクリート強度の即時判定はほぼ満足な成果が得られたのであり、本方法が容易に工事現場におけるコンクリート

の品質検査に適用できることが確かめられたのである。

今回の現場実験で用いた急結剤は改良前の PR1 であり、また試験機器も改良の余地があったので、これらの改良により推定値の精度をさらに向上させることが可能であると思われた。

5. 急結剤の改良

前章までに述べたように、急速硬化モルタルの強度は、セメントの種類あるいは銘柄による差よりも、セメントの風化の状態による影響にきわめて敏感であるように思われた。セメントの風化の影響は、通常の養生によるコンクリートの強度を低下させること⁵⁾、風化は高温高湿の状態の時に大きく進行すること⁶⁾などが報告されているが、急速硬化モルタルの強度に及ぼす影響は通常の養生の場合に比べ相当に大きい。このため、若干風化したセメントを用いたコンクリートの強度を急速硬化判定方法によって推定する場合、急速硬化モルタルの強度発現が風化の程度に応じて変動し、強度判定の精度を大幅に低下させることにもなる。そこで、セメントの風化の影響が過大に現われないようにするための急結剤の改良が必要となってきた。セメントの風化は、セメントが空気中の炭酸ガスと反応してセメント粒子表面が炭酸化されることによるため、一つの試みとして強アルカリの薬剤を混入することにより、炭酸化の影響をある程度除くことが可能ではないかと考えた。強アルカリ剤として、容易に入手でき効果のあるものとして苛性ソーダおよび苛性カリが考えられるので、これを用いて予備的な実験を行った。

図-7 に風化の程度と強アルカリ剤の効果の関係について予備実験を行った結果を示す。この図に示すように、市販の急結剤 (PR1) のみではセメントの風化の影響を大きく受け、急速硬化モルタルの強度が大きく低下するのに対して、苛性カリを加えた場合には、風化の影響を相当に低減させる結果を得た。この方法を詳細に検討するために、水セメント比を 2 種類、強アルカリ剤の

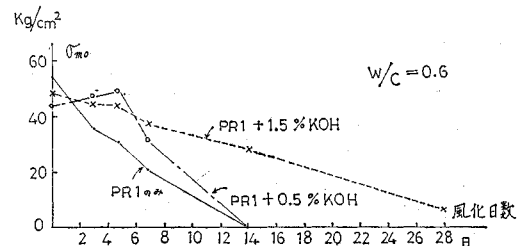


図-7 セメントの風化が急速硬化モルタルの強度に及ぼす影響と強アルカリ剤添加の効果 (A セメント使用、高温養生 1.5 時間、風化は 20°C、70% RH 以下とした)

表-4 急結剤の改良効果を調べた実験結果

強アルカリ剤 C×%	風化 日数	モルタルの圧縮強度 (kg/cm ²), ()内はパーセント									
		W/C=0.40				W/C=0.70					
		1.5 hr	3.0 hr	4.5 hr	標準養生 σ ₂₈	1.5 hr	3.0 hr	4.5 hr	標準養生 σ ₂₈		
—	0	0	118 (100)	152 (100)	162 (100)	820 (100)	6.4 (100)	36.2 (100)	43.2 (100)	398 (100)	
		1	80 (68)	141 (93)	155 (96)	772 (94)	0 (0)	15.0 (41)	38.7 (90)	366 (92)	
		2	31.6 (27)	111 (73)	128 (79)	727 (89)	0 (0)	0 (0)	21.8 (50)	312 (78)	
	KOH	0.5	0	110 (100)	142 (100)	159 (100)	—	23.6 (100)	39.6 (100)	45.2 (100)	—
			1	111 (101)	152 (107)	154 (97)	—	9.1 (39)	27.2 (69)	35.2 (78)	—
			2	74 (67)	122 (86)	124 (78)	—	0 (0)	20.6 (52)	31.9 (71)	—
1.0		0	102 (100)	128 (100)	135 (100)	—	33.3 (100)	44.8 (100)	47.4 (100)	—	
		1	126 (124)	164 (128)	166 (123)	—	28.0 (84)	36.1 (81)	42.0 (89)	—	
		2	106 (104)	134 (105)	148 (110)	—	19.2 (58)	33.0 (74)	34.8 (73)	—	
NaOH	0.5	0	103 (100)	125 (100)	134 (100)	—	31.1 (100)	42.3 (100)	47.0 (100)	—	
		1	109 (106)	132 (106)	150 (112)	—	19.7 (63)	28.9 (68)	33.8 (72)	—	
		2	87 (85)	106 (85)	124 (93)	—	12.2 (39)	25.6 (61)	30.6 (65)	—	
	1.0	0	100 (100)	118 (100)	133 (100)	—	39.7 (100)	48.9 (100)	55.4 (100)	—	
		1	107 (107)	126 (107)	143 (108)	—	36.6 (92)	51.2 (105)	56.5 (102)	—	
		2	89 (89)	120 (102)	131 (98)	—	32.8 (83)	41.9 (86)	48.1 (87)	—	

備考 1. 急結剤は PR1 をモルタル重量の 1% 使用
 2. 風化は 20°C, 80%RH の恒温室でビニール上に 2~3cm 厚で放置
 3. セメントは普通ポルトランドセメント (0)

使用をセメント量の 0, 0.5%, 1% と変化させて実験を行った。その結果を表-4 および 図-8 に示す。この実験では合わせて標準養生の供試体に対する風化の影響も求めたが、2 日間 20°C, 80%RH でセメントを風化させた場合、風化させないセメントを用いた場合に比べ、材齢 28 日における強度は W/C=0.4 で 89%, W/C=0.7 で 78% であって、強アルカリ剤を用いない急速硬化モルタルの場合に比べると強度低下はきわめて少な

いことがわかる。急速硬化モルタルの場合には、PR1 に加えて苛性ソーダをセメント量の 1% 加えると W/C が 70% の場合でもほぼ風化の影響が除去される結果が得られたのである。強アルカリ剤の種類およびその最適添加量としてはさらに多くの実験が必要であるが、現在までの実験結果からは、苛性ソーダをセメント量の 1% 程度急結剤に加えて使用すれば、セメントの風化による影響を除去するのに適当であると思われた。苛性ソーダなどの強アルカリ剤は劇薬であり、取り扱いに注意が必要であるので、セメントの風化を考慮する必要のないときは市販の急結剤のみの使用でもよいものと思われる。

6. コンクリート強度判定による検証

また、セメントの風化状態を迅速に調べたい場合、あるいは風化しかけたセメントの使用を防止したい場合には、急結剤のみを用いる方が急速硬化モルタルに敏感に影響するために好ましい場合も考えられる。

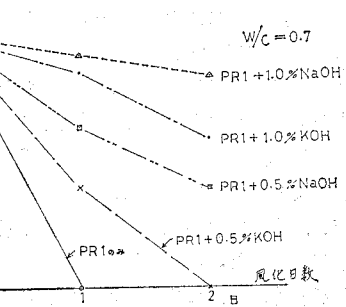


図-8 セメントの風化に対する急結剤の改良効果を調べた実験結果 (高温養生 1.5 時間における圧縮強度の百分率)

表-5 コンクリート強度判定の実験結果

No.	セメントの種類	混和剤		配合			スランブ (cm)	空気量 (%)	ト換算セメント (kg/cm ³)	縮トコン強度標準値 (kg/cm ²)	ウェットスクリーンドモルタルの圧縮強度 (kg/cm ²)			モルタルの圧縮強度 (kg/cm ²)		
		種類	C×% (%)	W/C	s/a	C (kg/m ³)					急速硬化		標準	急速硬化		標準
											1.5 hr	3.0 hr		28 日	1.5 hr	
1	普通ポルトランドセメント (O)	AW	0.25	0.70	0.42	214	9.0	4.3	1.27	216	35.6	51.7	388	33.5	47.7	366
2		"	"	0.564	0.38	254	9.5	3.9	1.62	351	54.0	72.5	504	52.9	81.9	530
3		"	"	0.40	0.34	380	8.5	4.3	2.24	498	100	126	711	92.1	134	708
4		AE	0.025	0.70	0.42	229	9.5	4.3	1.29	254	46.0	57.1	430	28.3	37.5	336
5		"	"	0.55	0.38	282	9.0	4.1	1.65	331	62.9	80.0	539	50.2	66.9	481
6		"	0.045	0.40	0.34	420	9.5	4.3	2.26	412	97.0	123	704	99.0	120	640
7		AW	0.25	0.60	0.40	272	18.5	5.0	1.45	293	46.7	62.7	446	40.8	62.3	456
8		"	"	0.50	0.38	332	18.0	4.8	1.76	369	56.5	85.8	584	51.3	87.3	574
9		AE	0.025	0.60	0.40	287	17.5	4.2	1.52	317	52.1	71.3	533	44.6	54.6	462
10		"	"	0.50	0.38	354	18.5	3.9	1.85	374	68.3	81.9	561	67.5	84.6	597
11	普通ポルトランドセメント (A)	AW	0.25	0.70	0.42	217	8.0	5.0	1.23	228	37.5	50.9	332	32.7	46.0	310
12		"	"	0.55	0.38	264	8.5	5.1	1.54	343	68.5	86.4	503	60.6	85.0	453
13		"	"	0.40	0.34	385	8.5	3.8	2.31	472	119	148	747	121	151	619
14		AE	0.025	0.70	0.42	227	7.0	4.7	1.25	209	41.5	53.1	333	39.6	49.6	319
15		"	"	0.55	0.38	287	7.5	4.0	1.66	333	73.9	90.6	522	62.1	71.4	464
16		"	0.045	0.40	0.34	425	9.5	4.0	2.30	418	109	129	708	105	118	548
17		AW	0.25	0.60	0.40	272	18.5	5.3	1.42	305	55.2	75.4	460	54.8	78.5	404
18		"	"	0.50	0.38	336	19.0	5.4	1.71	374	71.0	92.1	533	80.6	111	519
19		AE	0.025	0.60	0.40	290	18.0	5.3	1.44	263	51.9	64.8	476	55.2	65.6	442
20		"	"	0.50	0.38	354	17.5	4.8	1.77	327	64.6	81.1	561	71.4	85.8	526
21	普通ポルトランドセメント (C)	AW	0.25	0.70	0.42	214	8.0	5.0	1.22	212	29.8	38.4	287	33.1	39.2	306
22		"	"	0.55	0.38	256	9.0	4.4	1.60	325	51.9	65.8	506	55.8	65.4	432
23		"	"	0.40	0.34	375	9.0	3.8	2.25	457	107	123	666	102	117	623
24		AE	0.025	0.70	0.42	224	9.5	5.6	1.19	195	29.6	38.8	319	25.8	32.7	306
25		"	"	0.55	0.38	280	10.5	5.2	1.55	317	44.6	53.3	472	41.8	52.7	436
26		"	0.045	0.40	0.34	410	10.5	5.1	2.16	422	92.9	105	666	79.6	96.4	525
27		AW	0.25	0.60	0.40	265	18.5	4.5	1.48	297	49.8	64.2	484	43.8	57.9	398
28		"	"	0.50	0.38	336	19.0	4.4	1.80	356	59.4	71.3	527	63.1	83.3	521
29		AE	0.025	0.60	0.40	283	19.5	5.8	1.39	286	46.4	58.3	472	35.6	43.3	423
30		"	"	0.50	0.38	348	19.5	5.3	1.72	355	52.9	64.2	522	53.1	65.0	526

備考 1. 粗骨材の最大寸法=25 mm, 細骨材の粗粒率=2.86, 川砂, 川砂利使用
 2. 急結剤は改良急結剤 (PR2) をモルタル重量の 1% 使用
 3. 混和剤 AW は AE 減水剤, AE は AE 剤
 4. 高温養生は 70°C, 100%RH

トの練りまぜ状態などを変化させて検証することとした。

急結剤としては市販の急結剤 (PR1) の 20% を苛性ソーダで置き換えたもの (以後 PR2 とよぶ) を用いた。

表-5 に実験の結果を示す。このうちの急速硬化モルタルの強度発現特性の一部を図-9 に示す。これらの表および図から次の事柄が認められる。すなわち、急結剤を改良して用いたため初期強度の増大が大きく、早い時間に急速硬化モルタルの強度が安定している。また、セメントの銘柄および混和剤の相違による強度特性の相違も一部を除き大きくない。モルタルのみを練りまぜた場合と、コンクリートからウェットスクリーニングして得たモルタルとの強度を比較すると、標準養生した供試体の場合は、明確にウェットスクリーニングしたモルタルの方が 10~20% 程度強度が大きくなっており、急速硬化モルタルの場合でも全体の傾向としては標準養生の場合と同様であるが、一部異なったものも見られる。ウェットスクリーニングの有無による急速硬化モルタルの強

度の差が、今回の実験では前に報告した場合¹⁾ と比べて必ずしも顕著ではないのは、実験場所が異なったため練りまぜ前の粗骨材表面の湿潤状態、および粗骨材中に含

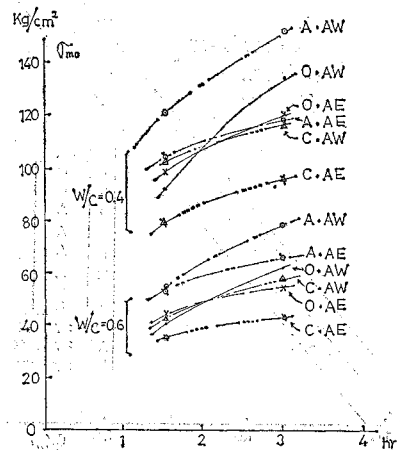


図-9 急結剤 PR2 を用いた急速硬化モルタルの強度特性

まれる微粒分の量の相違などが影響したからと思われる。

次に、得られた結果を用いて本方法の強度推定の精度を検討してみる。まず、コンクリート強度と水セメント比との関係は、セメントの銘柄、粗骨材の管理状態、混和剤の有無、空気量の大小などによって異なるが、ここではすべてを同一の図に表わした。ただし、空気量の大小は次のような方法で考慮した。すなわち、空気を同体積の水に換算して AE コンクリートの水セメント比をプレーンコンクリートの水セメント比に換算することとしたのである。この場合、粗骨材の最大寸法が 25mm であるので、プレーンコンクリートの混入空気量は普通 1.5% 程度であるが、混和剤の効果を考慮し、AE コンクリートで 2.5% を越える分の空気量を水に換算して修正することにしたのである。このようにして定められた水セメント比を、ここでは換算水セメント比とよぶことにする。

図-10 に表-5 の値および前論文¹⁾の実験も合わせて強度と換算セメント水比との関係を示した。この結果、セメントの銘柄、混和剤の種類などの要因はコンクリートの強度に大きくは現われておらず、ここではこれらを区別しないで取り扱うことができるものと思われた。したがって、ここでは換算セメント水比を用いて単一の $\sigma_{28}-C/W$ 直線を最小二乗法によって求めることにした。このようにして求めた式(1)の k_1, k_2 は次のような値となる。

$$k_1 = 237, k_2 = -65$$

次に同様にモルタルのみを練り混ぜた場合の急速

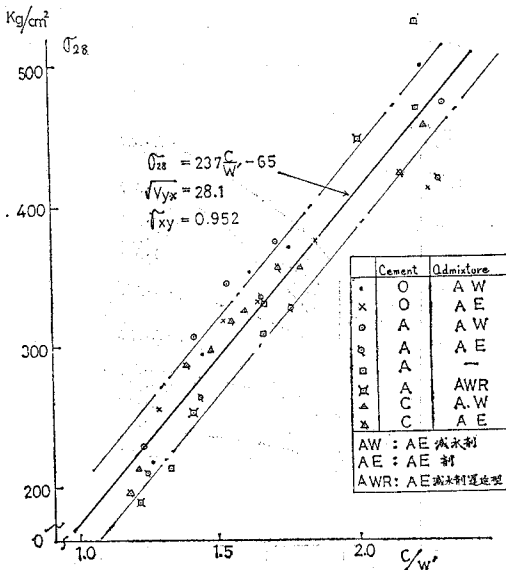


図-10 コンクリートの圧縮強度 σ_{28} と換算セメント水比 C/W' との関係の実験結果

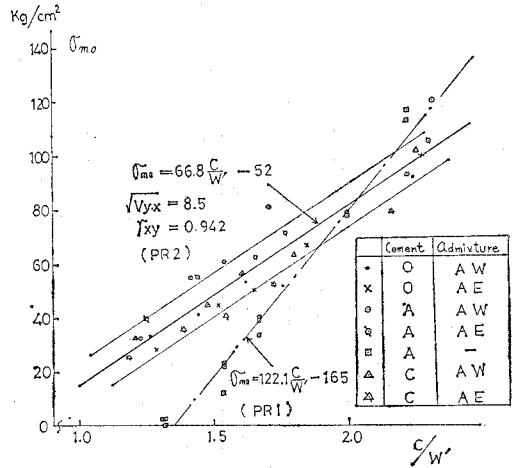


図-11 モルタルの急速硬化強度 σ_{m0} と換算セメント水比 C/W' との関係の実験結果 (高温養生 1.5 時間の場合)

硬化モルタルの強度とセメント水比との関係についても、表-5 から換算セメント水比を用いて求めると次のようになる。

$$m_{01} = 66.8, m_{02} = -51.8$$

(高温養生 1.5 時間の場合)

$$m_{01} = 79.2, m_{02} = -55.4$$

(高温養生 3.0 時間の場合)

なお、改良以前の急結剤 (PR1) を用いた場合の m_{01}, m_{02} はそれぞれ次の値である。

$$m_{01} = 122.1, m_{02} = -165.1$$

(高温養生 1.5 時間の場合)

$$m_{01} = 111.2, m_{02} = -116.0$$

(高温養生 3.0 時間の場合)

図-11 に示すように、急速硬化モルタル強度は、セメントの銘柄、混和剤の種類によりわずかな差も見られるが、同じ直線で表わしても誤差はそれほど大きくならないと考えられる。セメントの銘柄および混和剤の種類に無関係に急速硬化判定方法の一般的な推定式が定まることは、この方法の有用性を一段と高めるものと思われる。これは急結剤として強アルカリ剤を加えて改良したものをを用いたことに起因していると思われる。

図-11 に、合わせて改良前の急結剤によるデータも示したが、材令 1.5 時間の場合が特に改良急結剤を用いたものと異なっており、セメントの風化の影響の除去、高温養生時間の短縮化、コンクリート強度推定値の精度向上などに改良急結剤がきわめて有効であることが示唆されたものと思われる。

次に、ウェットスクリーニングの効果について考慮することにする。前論文¹⁾に示した実験結果と同様、今回の実験結果についてもウェットスクリーニング効果と表

表-6 (1) コンクリートの σ_{28} の実測値と 1.5 時間推定値 (kg/cm²)

No.	実測値 σ_{28}	推定式 (1)		推定式 (2)	
		推定値	推/実	推定値	推/実
1	216	250	1.16	227	1.05
2	351	305	0.87	297	0.85
3	498	442	0.89	470	0.94
4	254	281	1.11	266	1.05
5	331	331	1.0	220	1.00
6	412	433	1.05	459	1.11
7	293	283	0.97	269	0.92
8	369	312	0.85	306	0.83
9	317	299	0.94	289	0.91
10	374	348	0.93	350	0.94
11	228	256	1.12	234	1.03
12	343	348	1.01	351	1.02
13	472	499	1.06	542	1.15
14	209	268	1.28	249	1.19
15	333	364	1.09	372	1.12
16	418	469	1.12	504	1.21
17	305	308	1.01	301	0.99
18	374	356	0.95	361	0.97
19	263	299	1.14	289	1.10
20	327	337	1.03	337	1.03
21	212	233	1.1	205	0.97
22	325	299	0.92	289	0.89
23	457	463	1.01	496	1.09
24	195	232	1.19	205	1.05
25	317	277	0.87	261	0.82
26	422	421	1.0	443	1.05
27	297	292	0.98	281	0.95
28	356	321	0.9	317	0.89
29	286	282	0.99	268	0.94
30	355	302	0.85	292	0.82
平均値		$\bar{x}=1.013$		$\bar{x}=0.997$	
標準偏差		$\sigma_n=0.107$		$\sigma_n=0.104$	
変動係数		$\frac{\sigma_n}{\bar{x}}=0.105$		$\frac{\sigma_n}{\bar{x}}=0.104$	
推定式 (1): 最小二乗法による $\sigma_{28}=2.98 \sigma_{m1.5h}+144$ (kg/cm ²)					
推定式 (2): 計算式による $\sigma_{28}=3.77 \sigma_{m1.5h}+93$ (kg/cm ²)					

表-6 (2) コンクリートの σ_{28} の実測値と 3.0 時間推定値 (kg/cm²)

No.	実測値 σ_{28}	推定式 (1)		推定式 (2)	
		推定値	推/実	推定値	推/実
1	216	258	1.19	238	1.10
2	351	313	0.89	309	0.88
3	498	457	0.92	490	0.98
4	254	272	1.07	256	1.01
5	331	333	1.01	334	1.01
6	412	449	1.09	480	1.17
7	293	287	0.98	275	0.94
8	369	349	0.95	354	0.96
9	317	310	0.98	304	0.96
10	374	338	0.90	340	0.91
11	228	255	1.12	235	1.03
12	343	351	1.02	356	1.04
13	472	516	1.09	565	1.20
14	209	261	1.25	243	1.16
15	333	362	1.09	370	1.11
16	418	465	1.11	501	1.20
17	305	321	1.05	318	1.04
18	374	366	0.98	375	1.00
19	263	293	1.11	282	1.07
20	327	336	1.03	338	1.03
21	212	222	1.05	193	0.91
22	325	295	0.91	286	0.88
23	457	449	0.98	480	1.05
24	195	223	1.14	194	0.99
25	317	262	0.83	243	0.77
26	422	400	0.95	419	0.99
27	297	291	0.98	280	0.94
28	356	310	0.87	304	0.85
29	286	275	0.96	260	0.91
30	355	291	0.82	280	0.79
平均値		$\bar{x}=1.011$		$\bar{x}=0.996$	
標準偏差		$\sigma_n=0.102$		$\sigma_n=0.108$	
変動係数		$\frac{\sigma_n}{\bar{x}}=0.101$		$\frac{\sigma_n}{\bar{x}}=0.109$	
推定式 (1): 最小二乗法による $\sigma_{28}=2.68 \sigma_{m3.0h}+119$ (kg/cm ²)					
推定式 (2): 計算式による $\sigma_{28}=3.40 \sigma_{m3.0h}+62$ (kg/cm ²)					

現すると、式 (3) の定数は次のようになる。

$$a_1=0.94, a_2=6.9 \quad (\text{高温養生 1.5 時間の場合})$$

$$a_1=0.88, a_2=11.4 \quad (\text{高温養生 3.0 時間の場合})$$

以上の結果を推定式である式 (4) に代入して求めると、改良急結剤 (PR2) を用い、高温養生 1.5 時間および 3.0 時間による推定式はそれぞれ式 (9)、(10) となる。

$$\sigma_{28}=3.77 \sigma_{m1.5h}+93 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{高温養生 1.5 時間の場合}) \dots\dots (9)$$

$$\sigma_{28}=3.4 \sigma_{m3.0h}+62 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{高温養生 3.0 時間の場合}) \dots\dots (10)$$

それぞれの推定値および実測値は表-6 に示す通りである。また、このうちの高温養生 1.5 時間の場合を示したのが図-12 である。なお推定式として σ_m と σ_{28} との実測値から直接最小二乗法によって求めた式も図および表に示してある。

このように、推定値と実測値はきわめてよく一致しており、実測値に対する推定値の比率の変動係数は、高温養生 1.5 時間および 3.0 時間の場合ともに約 10% であり、コンクリートの σ_{28} 自身の変動が管理のよい場合でも通常 5% 以上はあることを考えれば、材令 1.5 時間あるいは 3 時間でこの程度の精度が得られることは画期的なことと考えられる。また、実測値から直接最小二乗法によって求めた式と、式 (4) の関係を用いて計算によって求めた推定式とで、式の係数は若干異なっているが、求める推定値の精度はほぼ同様であり、このことは精度のよい推定式が強度判定作業の開始と同時に求められることを意味するものである。なお、単一の銘柄のセメントと単一の混和剤を用いたコンクリートについて固有の推定式を上述の方法で求め、これを用いて σ_{28} を推定すればさらに精度のよくなることは当然である。この

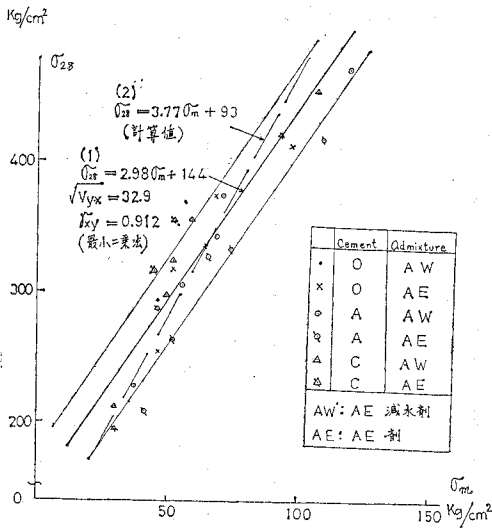


図-12 コンクリートの圧縮強度 σ_{28} とウェットスクリーンドモルタルの急速硬化強度 σ_m との関係 (高温養生 1.5 時間の場合)

実験の場合、各材料ごとの推定式を用いて推定値と実測値を比較した場合、推定値と実測値との比率の変動係数は約 7% であった。

以上のように、改良した急結剤を用い、セメントの銘柄、混和剤の種類を変えたコンクリートによる実験の結果、本方法はきわめて短時間のうちに十分な精度でコンクリートの強度を判定できることが明らかになったのである。

ただし、別の実験でコンクリートの練りまぜを手練りで 1 分間程度としたきわめて不十分な練りまぜのコンクリートを試験したところ、ウェットスクリーンドモルタルの強度は十分所定の強度となっても、コンクリートの標準供試体はブリージングなどの影響が大きくなって、モルタルと粗骨材との付着が害され、実測強度が 70% 程度に低下した。特に水セメント比の大きい場合にこの傾向が著しい。したがって本方法によるコンクリート強度判定は、普通に練りまぜられた分離の少ないコンクリートに用いるものとし、この条件が満足されない場合には、推定した強度をある程度割り引いて考える必要がある。

7. 強度判定の手順

本方法によるフレッシュコンクリートの強度判定の手順は、図-13 に示す通りである。採取するコンクリート試料の量は用いる型枠の寸法、供試体の数によって異なるが、断面積 10 cm²、長さ 5 cm の専用の 3 連型枠を 1 個用いる場合には、約 5 kg (または約 2.2 l) のフレッシュコンクリートを採用し、これを 5 mm ふるいで

ウェットスクリーニングして、これから 500 g のモルタル試料を計り取る。これに 5 g 程度の一定量の急結剤 (PR2) を添加して 1 分間練りまぜ、ただちに専用型枠に詰める。これをあらかじめ 70°C、100%RH に保っておいた恒温恒湿装置に入れ、1 時間以上の一定時間養生して急速硬化

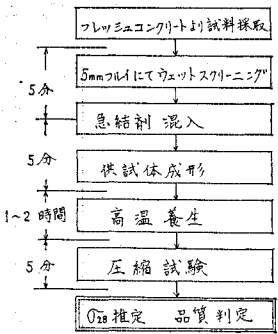


図-13 急速硬化判定方法の流れ図

モルタル供試体を得る。これを圧縮試験し、その結果からあらかじめ求めておいた推定式を用いて、ただちにコンクリートの材令 28 日の強度を推定する。

型枠に JIS R 5201 のセメント強さ試験用型枠を用いる場合には、コンクリート試料として約 15 kg を採取し、ウェットスクリーニングしたモルタルを 2.5 kg 計りとして試験をすればよい。

改良急結剤と専用型枠とを用いれば、高温養生 1 時間でもある程度の精度でコンクリート強度を推定することが可能であるが、はじめは高温養生 1.5 時間程度とし、実績の積み重ねによって徐々に養生時間を短縮していくのも一つの方法である。

工事に使用するセメントおよび試験に用いる急結剤などを用いて強度推定式を定めるには、次のようにするのがよい。使用するセメントおよび細骨材を用いて表-7 の配合のモルタルを練り、これを急速硬化させて、 $\sigma_{m0}-C/W$ 直線を最小二乗法によって定める。式 (1) の k_1 、 k_2 、式 (3) の a_1 、 a_2 として仮りに 6. で用いた係数を用いれば、材料特性を考慮した強度推定式が品質検査の開始と同時に求められる。このようにして求めた強度推定式を用いて品質検査業務を開始し、やがて材令 28 日の実測コンクリート強度のデータが出た段階で、急速硬化モルタル強度と材令 28 日の実測コンクリート強度とを直接対比して、強度推定直線を修正していくのがよい。なお、普通ポルトランドセメントを用いた普通骨材コンクリートの概略の強度推定式としては、改良急結剤

表-7 強度推定直線作成用モルタルの配合例

C/W	W (g)	C (g)	S (g)	S/C	Total Weight (g)
2.2	65	143	292	2.04	500
2.0	65	130	305	2.35	500
1.8	65	117	318	2.72	500
1.6	70	112	318	2.84	500
1.45	70	102	328	3.22	500
1.3	70	91	339	3.73	500

備考：専用型枠 (10 cm²×5 cm×3 連) 使用

(PR 2) を用いる場合、種々の実験結果から得た式 (9) が参考になると思われる。AE 剤などの混和剤が用いられているコンクリートの場合でも、空気量の影響を水量に換算して評価すれば、プレーンコンクリートとほぼ同じに扱えるので、 $\sigma_{ms}-C/W$ 直線を求める際には、特殊な場合を除き、混和剤を用いないで値を求めてもよいものと思われる。

8. コンクリート強度検査システム

JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」ではコンクリートの強度検査を 150 m^3 に 1 回行うことを規定しているが、レデーミクストコンクリートはいわば半製品であるため、できれば各運搬車ごとになんらかの試験を行うのがよいと思われる。しかし本方法がいかに簡便な方法であるとはいえ、全運搬車のコンクリートを検査することは一般の場合きわめて煩雑であり、無理が生ずる場合がある。そこで、スランプ試験方法よりさらに簡易なチェック方法を開発して、全運搬車のコンクリートを検査するとともに、本方法によって運搬車の最初の 1 台目と、以後簡易チェックで疑問のあるコンクリートなどを抜き取り式に検査するのがよいと思われる。検査の工程から考えて午前 2 回、午後 2 回程度でスタートするのがよいであろう。本方法が軌道に乗れば、材令 28 日の標準供試体による試験は品質確認の意味で行うこととし、1 打込み区画につき 1 回、あるいは 2 回程度行えばよいであろう。

次に問題となるのは、誰れが試験の作業を担当するかである。元来、検査は購入者の責任で行うものであり、米国などのように発注者が独立の検査機関に依頼して行わせるのが理想と思われる^{7),8)}。本方法のような即時判定方法が今後普及する場合、今までのわが国における慣習にとらわれず、合理的な新しい検査システムを検討することが必要である。

わが国の公共土木工事を対象として考えてみると、コンクリート工事の検査に関係のある機関として次が考えられる。

- (1) 発注者
- (2) 発注者が依頼した民間の施工管理会社
- (3) 施工業者
- (4) レデーミクストコンクリート会社

レデーミクストコンクリートを直接購入するのは一般に施工業者であるが、公共土木工事の場合、普通は発注者の意向を無視して施工業者がコンクリートを購入することはできない。そこで、本方法のようなコンクリート強度即時判定方法が健全に普及するためには、スタートとして上記の (1) または (2) の機関が責任をもって実施

し、実績を積み重ねた後に、場合によっては (3) の機関で行わせることを検討したらよいであろう。(4) の機関に行わせることは検査の独立性から考えて好ましくなく、また検査に対する軽視にもつながるであろう。

なお本方法を工事現場で実施することにより、レデーミクストコンクリート工場での品質管理がいっそう注意深く行われるようになるであろうし、またコンクリートを打ち込む側の技術者もコンクリートの品質に対する関心が深まるとともに、施工中のコンクリートの品質に関して自信を持って仕事を進めることができ、コンクリート工事全般について、生きた品質管理を期待することができると思われる。

本方法のような即時判定方法を基本とし、コンクリートの硬化後に行うシュミットハンマーなどによる検査をも含めて総合的なコンクリートの品質検査システムを確立すれば、コンクリート構造物に鋼に勝るとも劣らない品質の信頼性を持たせることも可能であると思われる。

9. 結 言

急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法の実用化を進めるにあたり問題となる事柄について、以上に述べたような検討を行った。研究の方法として、問題点の抽出とその解決方法に重点を置いたため、研究が必ずしも系統的に行われなかったが、本研究の範囲で急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法は十分に実用的な域に達したものと考えられる。

本研究において得られたおもな成果をここに列挙すれば、次の通りである。

(1) セメントの風化が急速硬化モルタルの強度に過度に大きく影響することが判明し、これがこの方法による推定の精度を低下させる原因の 1 つになり得ることが明らかとなった。

そこで、これに対処する方法として急結剤の改良を行い、本方法のための専用の急結剤を開発して、この点を解決した。すなわち、強アルカリ剤を急結剤に一定量添加することにより、セメントの風化の影響を除くことができたのである。

(2) 改良した急結剤を用いることにより、セメントの銘柄、ロット、および保管状態などの相違の影響、混和剤の影響などによる急速硬化モルタル強度の相違を相当に少なくすることができ、種々の普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに共通の標準的な強度推定式を提案することができた。

(3) 改良急結剤の使用により、急速硬化モルタルの強度発現が相当に早くなり、養生時間の短縮および推定値の精度向上を計れることが示された。すなわち、一連

の実験の結果、材令 1.5 時間でセメントの銘柄に関係なく、コンクリートの材令 28 日の強度を変動係数約 10% で推定することができたのである。なお、同一の銘柄の材料の場合はこの変動係数が約 7% であった。

(4) 高炉セメントを用いた急速硬化モルタルにより実験を行った結果、普通ポルトランドセメントの場合と同様に高炉セメントを用いたコンクリートに対しても本方法を適用できることが示された。

(5) AE コンクリートの空気量の一部を同体積の水に換算した換算水セメント比の概念により、プレーンコンクリートと同一の強度-セメント水比直線を AE コンクリートにも適用することができた。これにより、即時判定を行う際に必要となる強度推定式を容易に作成することが明らかになった。

(6) 現場試験用恒温恒湿装置および圧縮試験機を試作し、現場実験に適用した結果、これらの機器は工事現場におけるコンクリートの強度検査にきわめて有用であり、かつ合理的なものであることが明らかとなった。

(7) 実際の工事現場において、現場に納入されたレデーミクストコンクリートの品質検査実験を行った結果、本方法が現場におけるコンクリート強度即時判定方法として十分実用的であり、現場コンクリートの品質検査および管理の内容を飛躍的に向上させ得ることが確かめられた。

(8) 本方法のための専用型枠、すなわち断面が 10 cm² となるように一辺を $\sqrt{10}$ cm とする型枠を試作し、養生時間の短縮、試験の合理化を計ることが可能となった。

「急速硬化によるコンクリート強度即時判定方法」は、提案されてからいまだ日も浅いため、実用にあたって新しい問題点、改良すべき点、あるいは改良可能な点などが今後出てくるものと思われる。

本方法のような迅速判定方法の採用にあたり、従来から行われている材令 28 日の強度試験との組み合わせの問題、スランプ試験よりさらに簡単なフレッシュコンクリートの簡易チェック方法の開発、硬化後のコンクリー

トの簡易検査方法の採用などを検討し、これらを組み合わせた総合的なコンクリートの品質検査・管理システムを確立することが今後の重要な課題であろう。

謝 辞：本研究を行うにあたり、首都高速道路公団の加藤正晴氏、阿部竜介氏、森山市三氏、大内雅博氏、飯野忠雄氏、秋元泰輔氏ほか多くの職員の方々から種々のご配慮を賜りました。厚く御礼を申し上げます。また実験に際しご協力いただいた信田佳延君、秋山正君をはじめとする研究室の大学院学生および卒業生諸君、日曹マスタービルダーズ(株)の秀島節治氏、児玉和己氏、中川 脩氏、林 俊彦氏、現場実験にご協力いただいた(株)新井組の東森 実氏、ならびに試験機器の試作にご協力いただいた(株)丸東製作所の佐藤 博氏に深甚の謝意を表します。

なお本研究は国分正胤先生をはじめとする諸先生の暖かいご指導、ご支援を受けて行ったものであり、ここから感謝する次第であります。

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，1976 年 11 月。
- 2) 池田尚治：打込み時点にコンクリート強度を判定する方法に関する研究，土木学会第 31 回年次学術講演会講演概要集第 5 部，V-37，昭和 51 年 10 月。
- 3) 池田尚治・信田佳延・秋元泰輔：急速硬化によるコンクリート強度即時判定法の現場実験，土木学会関東支部第 4 回年次研究発表会講演概要集，昭和 52 年 1 月。
- 4) 神田 衛・鈴木 脩・石渡章介：夏期におけるコンクリートの強度の低下現象に関する一考察，コンクリートジャーナル，Vol. 8, No. 11, Nov. 1970。
- 5) 児玉武三・宮脇秀年：セメントの風化がその物理的性質におよぼす影響，セメント技術年報(第 10 回)，pp. 78~83，昭和 31 年。
- 6) 真鍋敏雄：セメントの風化におよぼすセッコウの影響，セメント技術年報(第 10 回)，pp. 74~77，昭和 31 年。
- 7) ACI Symposium by Committee 311: Inspection of Concrete, ACI Journal, pp. 269~290, June 1975.
- 8) ACI New Jersey Chapter Report: Responsibility in Concrete Inspection, ACI Journal, pp. 201~218, April 1974.

(1977.5.18・受付)