

論 說 報 告

第 23 卷 第 9 號 昭和 12 年 9 月

セメント規格強度試験法の改正案に就て

會員 野 坂 孝 忠*

On the Draft Revision of Standard Method for Testing of Strength of Cement

By Takatada Nozaka, C. E., Member.

要 旨

日本工学会は昭和 8 年 10 月、土木学会、建築学会及工業化学会より 3 名宛委員を選定、セメント試験方法に関する調査委員会を設けて、JES 28, 29 號に相當するセメント規格試験の方法を調査した。其の中特に強度試験法に關しては現行規格の硬練モルタルによる方法の不備を改めるため、水量を普通コンクリートに於ける程度の水セメント比を與へる所謂軟練モルタル法を採用、それが試験方法を 3 年間に亘り實驗的に研究検討して、今回現行規格中の強度試験法の改正案を得た。本文は之が研究過程の概報及試験方法の解説を施せるものである。

1. セメント強度試験法研究の動機

日本のセメント現行規格 (JES 28 日本ポルトランドセメント規格) は工業品規格中最も早く明治 38 年 2 月農商務省告示第 38 號を以て發布されて以來、明治 42 年 12 月、大正 8 年 6 月、昭和 2 年 4 月並に昭和 5 年 8 月の改正を経て今日に到つたものであるが、其の内容は制定當初より終始一貫して先進國獨逸のセメント規格を範とし、更改亦これに應じて來たものである。然るに今セメント試験法中最も重要な強度試験法に就て見るに獨逸法を始めとし、歐洲大陸諸國英米の現行セメント強度試験法の大部分は其の根本に於て最近の進歩著しきセメントの化学的性質及コンクリートの材料学的性質と相容れないものである。即ち其の試験方法は今迄數次の改正を経たがそれらの改正は常に、試験結果の誤差を僅少ならしめる點にのみ留意してセメント製法の進歩に伴ひ最低強度値を漸次上げた丈のことであつて、更に根本的な試験法の基礎理論に就ては何等の考慮が拂はれずして今日に到つた。即ちセメントの規格試験法としては先づ各種セメントの材料学的性質を明示し、特にコンクリートとして使用した際の強度特性を的確に表はす試験法でなければならぬが、その點に於て從來の規格は次に記す如き重大な缺陷を持つてゐる。

現行強度規格はセメント 1 分に粒径 0.85~0.64 mm の間に位する粗い標準珪砂 3 分を加へ、之に水をセメント重量の約 25~32% の少量を加へた極度の硬練モルタルに激しい錠打の外仕事を加へて立方体供試体に仕上げたものである。斯の如く非常に硬練なる 1 品位のモルタルを以てする現行規格試験法は、

(a) 徒らに少量の水を以てセメントの加水分解に基く凝結硬化の性質を考慮せざるため、普通、早強、混合各種セメントの水化による強度特性を表はさず、

* 東京帝國大学助教授 工学士

(b) 實際に使用する水比 40~80% 程度のコンクリート或はモルタルの強度とは何等の理論的關係を有たない。

之を詳述すれば凡そ適當の軟度に練つたコンクリート及モルタルの強度は、それに使用した水量に依つて最も著しく影響されるものであつて、セメントに對する水量の増加に依る強度の低下率は又セメントの種類によりて異なる。然るに現行規格は此の點でも

(c) 1 品位のモルタルに就て試験するため、水量の増加による各種セメント強度低下の特性を知ることが得ず、

(d) 材齡の増加による強度成長の割合は實際のコンクリート、モルタルのそれと全く並行せず、特に 3 日、7 日の早期に於て強度成長率が早強、普通、混合の各種セメントにより或は制限せられ或は促成せられるの不公平がある。又、

(e) 風化セメントは成形時の激しい打撃により風化粒子が再び細分され又は新鮮面を露出し、實際コンクリートに使用した場合の如き強度の低下を示さない。

これらの重大な缺陷を有する従來の規格を改良するため新に提案されたのが、實際コンクリートと同程度の水量を以て軟く練つたモルタルを型枠に流し込んで成形する軟練モルタル試験法であつて、此の方法は後記の改正案に示すが如き簡単な方法により、同一セメントにつき 2 種の品位で強度を試験し、實際コンクリートに使用した場合の強度特性を表はさしめんとするものである。

尙之をセメント發達の過程に就て見ると、今日の規格はセメントの品質未だ極めて低級な時代の所産であつて、當時は低品位のセメントから出來得る限りの強度を得んとする手段として頻に硬練コンクリートを使用したのであつて、當時のセメント試験法が等しく硬練 1 種に限られたのは寧ろ當然であつたと云ひ得る。併し此の點も最早今日の事情とは一致しない。

以上はセメントの現行規格強度試験法の内容検討の要點であり、併せて今日の試験法改正の研究の動機である。

2. セメント強度試験方法の研究過程概要

セメントの現行強度試験法は上述の不備を有するものであるから之が改良の研究が企圖されるのは當然なことであつた。我國に於ては昭和 4 年頃より永井彰一郎博士、濱田稔博士に依つて之が研究に着手された。當時は外國の事情も未だ詳かでなかつたが、其の後各國に於て同じく相當に注意されてゐる事が明かとなり殊に瑞西及獨逸は此の點に就て早くより注目し、瑞西の如きは既に 1933 年(昭和 8 年)規格を新法に改正した。尤も瑞西の新規格はコンクリートとの強度關係に就て未だ充分でなく、水量も標準砂を用ひた 1:3 モルタルに對し普通ポルトランドセメント 44%、高級セメント 48% の比較的硬練であつて、恰も舊法と木案との中間に位する如きものである。

セメント強度試験法の事情は斯くの如きものであつたので、日本工學會に於ては昭和 8 年 10 月セメント試験方法に關する調査委員會を設置し、土木、建築及工業化学の 3 學會より委員を選出し、大河戸宗治博士を委員長として、之が研究調査を始めた。その實驗的研究には日本學術振興會及萬年會の補助を得て、東京帝國大學工學部に於て永井彰一郎博士、濱田稔博士と共に筆者も夫々化学、建築、土木各教室の實驗室に於て之が研究實施に當つた。

以下簡單にその研究過程の概要を摘録する。

(a) 軟練モルタルとコンクリートとの強度のよき平行性： 適當な軟度に練つて成形したモルタル及コンクリートの強度は専らセメントに對する水の量の多少によつて決定される。其の關係を簡明に表はす式に Abram の

$$S = A/B^x$$

がある。茲に S はモルタル或はコンクリートの強度、 x は其の中に含まれた水の重量をセメントの重量で除したる比 (w/c) である。

斯の如く軟度を一定に保ちつゝ水量を次第に増加した場合モルタル及コンクリートの圧縮強度の遞減する割合を普通及早強セメント 1 種宛を以て材齡 28 日に就き一例を示せば 図-1 及表-1 の如くなる。

之から明かなる様に一定の軟度に作つたコンクリートとモルタルとの間には水量の増加による強度の遞減の割合による平行性の成立つことが判る。

(b) 規格硬練モルタルによる強度試験の不公平： 早強、普通及混合セメントの各一種について JES 28, 29 號の規格硬練モルタルと適當な軟度 (小型フローテーブルに依りフロー 200) に軟く練つた軟練モルタルと圧縮強度を材齡 3 日, 7 日及 28 日に就て擧げて見ると表-2 の通りである。

表-2 によればコンクリートの強度と良き平行性を保つ軟練モルタルの強度に比して規格硬練モルタルの強度は早強セメントには水量の不足による制限硬化のため極めて不利な強

図-1. w/c の増加による強度低減の關係

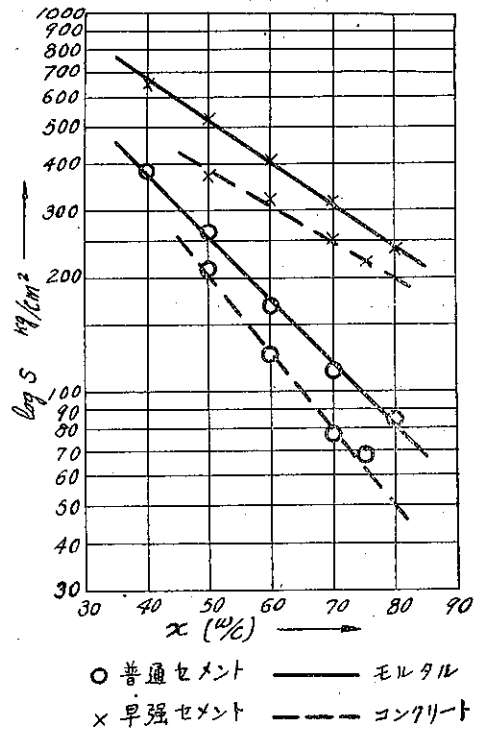


表-1. w/c (%) と強度 (kg/cm^2) との關係

w/c	モルタル					コンクリート			
	40	50	60	70	80	50	60	70	75
早強セメント	654	526	410	316	236	374	310	250	216
普通セメント	380	264	167	114	84	210	125	77	68

表-2. 規格モルタルと軟練モルタルとの強度の比較

圧縮強度 (kg/cm^2)		(A) 規格モルタル強度			(B) 軟練モルタル強度			(A)/(B)		
材 齡 (日)		3	7	28	3	7	28	3	7	28
高級 セメント	アルミナセメント	559	551	569	564	570	462	0.99	0.97	1.23
	早強セメント	546	635	689	331	391	461	1.65	1.62	1.49
普通セメント		336	462	532	135	253	372	2.49	1.83	1.43
混合 セメント	高炉セメント	329	498	621	162	259	427	2.03	1.92	1.45
	多珪酸質混合セメント	359	494	724	94	141	272	3.82	3.50	2.66

度を與へ、混合セメントには成形時の激しい打撃のため實際以上に有利な強度を與へて促進硬化を及ぼしてゐる。

(c) 材齢の増加による強度生長率：普通及混合セメント各1種について材齢8週までのコンクリート及軟練モルタルの圧縮強度生長率を表示すると表-3の如くなる。

表-3. コンクリートの圧縮強度を軟練モルタルの圧縮強度で除したる比

材 齢 (日)	5	7	14	28	56	平均	平均値に對する 最大誤差
早強セメント	0.61	0.55	0.63	0.73	0.62	0.63	15.97
普通セメント	0.62	0.55	0.55	0.52	0.58	0.56	10.7

表-3と表-2とを比較すると軟練モルタルの強度生長率はコンクリートとよき平行性を保ち、規格硬練モルタルは早期に於て特に強度過大であつて28日までの生長率は練軟モルタルに比して遙に低い。

3. 軟練モルタル試験法の確立

上記の如く品位1種を以て行ふ硬練モルタルによる現行規格試験法に比し、適當な軟度に練つた軟練モルタルによる利益は最早動かすべからざるものとなつたので次の如き新規規格試験法を立案した。即ち

適當な軟さ(小型フローテーブルにてフロー200)に練つて4×4×16cmの梁型枠に流し込み成形した2品種のモルタル供試体につき曲げ、圧縮試験を行ふこと。

(a) 梁形供試体を採用した理由：軟練モルタル試験法の供試体に土木、建築兩學會規定のコンクリート圧縮供試体の如く高さを直径の2倍とする円壘形の採用は一応尤もなる如く見えるが、圖-2に1例を示す如く、高さを直径の2倍とする、円壘形供試体の強度と梁形供試体の強度とは寔によき平行性を示してゐる。尙各點を示す平均値の算出に使用した各個の供試体の平均値からの偏差は、梁形の方が円壘形より少ない利點を有してゐる。

圖-2 混合砂及微砂、梁形及円壘形の比

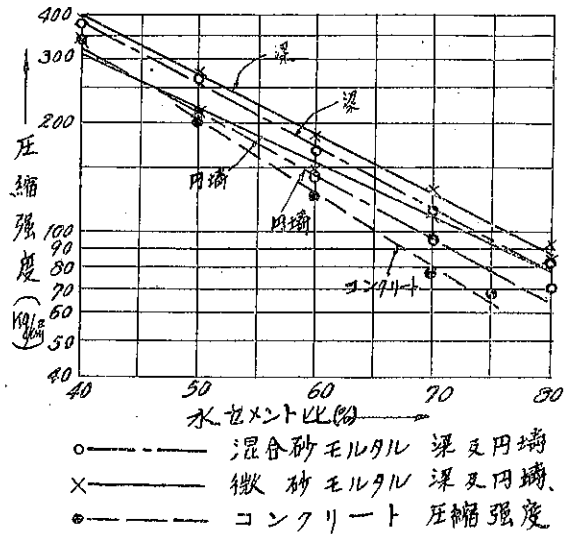


表-4. 8字形供試体の引張強度と梁形供試体の曲げ破壊係數

強度 (kg/cm ²) w/c (%)	(A) 8字形の引張強度			(B) 梁の曲げ破壊係數			(A)/(B)		
	40	50	60	40	50	60	40	50	60
材 齢 (日)									
3	17.0	15.4	12.9	29.0	23.4	22.0	0.59	0.66	0.59
7	20.8	21.9	20.0	40.8	38.2	37.6	0.51	0.57	0.53
28	22.9	28.0	27.7	52.3	55.6	56.4	0.44	0.50	0.49

梁形供試体を用ひて先づ曲げ試験を行ひ然る後兩折片を以て圧縮強度を行ふ方法は同時に曲げ、圧縮 2 種類の強度を試験し得る大きな利點がある。而も軟練モルタルを以て作った規格引張試験用 8 字形供試体の引張り強度と、梁形供試体の曲げ破壊係數との間には表-4 の如きよき平行性が成立つ。

圧縮試験は中央載荷曲げ試験による高さ 4 cm、幅 4 cm、長さ約 8 cm の折片を 4×4 cm の加圧面を以て圧縮するのであるが、その値が 4 cm 立体の供試体の示す強度と實驗誤差以上の誤差に出ないことも、實驗的に明かにされた。

表-5. 使用微珪砂の粒度

(b) 使用する砂：新規格案としては朝鮮九味浦産微珪砂を採用する。その粒度は表

径 mm	>0.3	0.3~0.2	0.2~0.15	0.15~0.10	<0.10
・%	2.8	31.6	50.1	15.0	0.5

-5 の如く、比較的粒径の揃つた珪砂である。

即ち其の大部分は 0.15~0.30 mm の間に位せる微砂である。之に對し現行規格の標準砂は 0.64~0.85 mm の粗粒であるから、此の 2 つの砂を微珪砂 1 に對し標準珪砂 2 を加へて作った比較的粒度のよい混砂と、微珪砂のみを用ひた軟練モルタルの強度を比較した處、圖-2 に示す如く何れも $S=A/B^2$ の關係を満足し、強度試験の見地からは微砂、混砂何れも優劣を認め難い。依つて試験を簡便にする上からモルタル骨材として、九味浦産微珪砂のみを用ひることとした。

この微珪砂は南鮮九味浦海岸に産する天然珪砂で從來本邦硝子工業原料として多量に産出、其の所藏量の豊富になると、材質粒度の均齊なること、又海岸砂にも拘はず食鹽の含有量 0.005% 以下の微量なること等より、今後規格試験用標準砂として充分な條件を具へるものである。

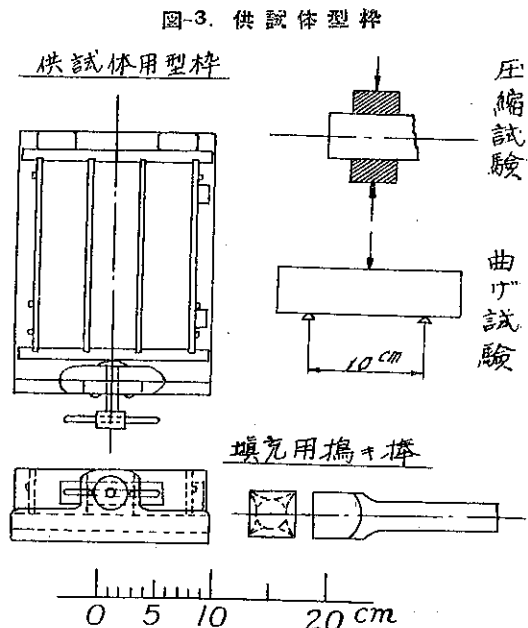
(c) モルタル品位 2 種に就て試験すること：從來の規格試験は水比 20~30% の極めて硬練の 1 品位モルタルについて試験するため、水量の多少によるモルタル強度の増減は判断すべくもない。新規格案に於ては軟度を一定(小形フローテールでフロー 200) に保つ w/c 45.05% の 2 品位に於て強度試験を行ふことを規定せるため各種セメントの水量の多少による強度増減の特性を明確に判断し、ひいては規格試験強度値より所謂 workable なコンクリートの程度を推算することも可能である。この點は特に新規格案の最も重要な改正點である。

以上の實驗研究に基いて立案した新セメント強度規格試験方法案は 5. に記す如くである。

4. 共同試験並に規格強度値の決定

昭和 9, 10 年度に亙る 2 ヶ年の基礎的研究の結果に基づき、永井、濱田兩博士と共に新試験法を協議決定東京帝國大学工学部応用化学、建築及土木の 3 教室に於て同時に共同試験を行ひ、其の結果を互に比較研究した。

(a) 試験方法：4×4×16 cm の梁形供試体を、圖-3 の如き 3 個連続の鉄製の型枠を使用し、3 個 1 練りと



して成形する。

配合及水量は砂に微珪砂 1 種のみを使用して表-6 の 2 品種とする。

練方は乾燥 1 分、注水後 2 分手練とし、此

表-6. 供 試 体 品 種

の試料を以て先づフロー試験を行ふ。フロー試験は小型フローテーブルを使用、10mm の落高を 20 回落下せしめ、振り後の直径の mm の數値にて表はす。此の試料を元へ戻

品 種	セメント	砂	水
1:1	760 gr	760 gr	342 gr (w/c 45%)
1:2	525	1050	342 (w/c 65%)

し、突面 3.5 cm 平方、重量 1kg の鋼製突棒を以て供試体型枠に 2 層に分つて填充する。各層の突数はフローによつて異にし表-7 の値とする。

養生は型填後 1 日間之を密閉して水の蒸發を防ぎ、脱型、水温 15°C 以上の水槽中に養生する。強度試験は材齢 3, 7 及 28 日に於てスパン 10 cm に保つて曲げ試験を行ひ 3 本の供試体により曲げ破壊係數の平均値を求め、それらの兩折片につき 4×4 cm の加圧面を以て 6 個の立方体の圧縮強度の平均値を求める。

表-7. 供試体突數

フ ロー	突 數
210 以上	0
209~200	8
199~170	16
169 以下	32

(b) 試験結果：共同試験は 2 回に分れ、**図-1** (昭和 11 年 5 月 20 日~7 月 8 日)

はセメント 17 種類 (普通ポルトランドセメント 6 種、早強セメント 5 種、低熱セメント 1 種、高炉セメント 3 種、高珪酸質混合セメント 2 種) を使用したが、試験實施中途に於て試験法に不備を認め、2 度改良を施したので I, II 及 III の 3 種類に分れる。即ち II, III は I に於て型枠よりの漏れを認め之を完全に防止する方法を講じたこと、III は養生水温を可及的一定ならしめる様調節したこと、之らによつて本共同試験は表-8 に示す如く I より III に向ふに従つて教室の試験結果の平均値に對する誤差は次第に減少した。

第 2 回共同試験 (昭和 11 年 11 月 9 日~12 月 16 日) はセメント 9 種類 (普通ポルトランドセメント 2 種、早強セメント 2 種、低熱セメント 1 種、高炉セメント 2 種、高珪酸質混合セメント 1 種) を使用、**図-1** より更に練方を乾燥 2 分、注水後 3 分とし、此の試料を以てフロー試験を行ひたる後再び 1 分練直したること、又フロー試験は 10 mm の落高を 15 秒間に 15 回落下せしめることの 2 點を改良して試験した。其の結果平均誤差は圧縮試験に於て表-8 に示す如く更に減少、全体を通じて 10% 以下に納り、本法は從來の硬練法に優るセメントの強度規格試験法たり得ることを證明し得た。

表-8. 3 教室の共同試験の平均値に對する誤差 (%)

材 齢	曲 げ 試 験			圧 縮 試 験			軟 度	
	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日		
第 1 回	I	26.4	11.5	8.4	27.3	14.3	7.9	5.5
	II	16.3	7.0	7.5	15.3	8.4	6.0	3.2
	III	9.2	7.3	4.8	9.1	6.0	5.8	4.6
第 2 回		10.1	7.3	7.3	8.2	6.2	4.5	4.6

これらの共同試験による強度値と從來の基礎的實驗の中に利用し得る強度値とから、略最低と見られる値を拾つて規格試験の最低限度の値として立案したものが表-9 の括弧内の數字である。一方濱田博士が警視廳建築課と共に東大建築学教室に於て實際現場に於て使用せる各種のセメント 118 件につき軟練 1:2 モルタルに就き材

齢 28 日の曲げ破壊係数及圧縮強度を試験した結果と比較するに此の括弧内の数字は約 20% の不合格を示す。依つてこれらの値を幾分低減して上記の 118 件につき不合格 1~3% を示すに過ぎない値に訂正したものが表-9 の中の下側に記す数値であつて、これを新規格強度試験の最低値に採用した。

表-9. 規格改正案の最低強度値 (kg/cm²) (括弧内の数値は提案値, 下側数値は採用強度値)

セメントの種類	強度 (kg/cm ²)	配 合	材 齢 (日)		
			3	7	28
ポルトランドセメント	圧 縮 強 度	1 : 1	(100) 80	(220) 175	(360) 290
		1 : 2	(50) 40	(110) 80	(200) 160
	曲げ破壊係数	1 : 1	(30) 25	(50) 40	(70) 55
		1 : 2	(20) 15	(30) 25	(45) 35
早 強 セ メ ン ト	圧 縮 強 度	1 : 1	(200) 200	(310) 300	(400) 400
		1 : 2	(90) 80	(160) 160	(250) 250
	曲げ破壊係数	1 : 1	(45) 45	(60) 60	(75) 75
		1 : 2	(25) 20	(40) 35	(55) 55
混 合 セ メ ン ト	圧 縮 強 度	1 : 1	(80) 65	(200) 160	(360) 290
		1 : 2	(40) 30	(100) 75	(200) 160
	曲げ破壊係数	1 : 1	(20) 15	(40) 30	(70) 55
		1 : 2	(15) 10	(25) 20	(45) 35

5. セメント強度試験法の新規格案

以上の研究を基礎として茲にセメント強度試験方法の新規格案を立案した。因に本規格案の構成は便宜上現行規格とその形成を一致せしめる様に努めた。

尙本案は日本工学会より商工省規格統一調査會へ現行規格の改正案として提出されるものである。

本規格案並にそれが解説は本號(土木學會誌第 23 卷第 9 號) 彙報欄 (981 頁) に掲載せられてゐるから茲には省略する。