

## [168] アルカリ骨材反応試験(モルタルバー法)における 各種の問題点

蒔田 実 (建設省土木研究所)  
正会員 ○小林茂敏 (建設省土木研究所)  
正会員 河野広隆 (建設省土木研究所)  
石井良美 (建設省土木研究所)

### 1、まえがき

近年、アルカリシリカ反応(以下ASRと略す)によるコンクリート構造物の劣化の事例が我が国でも発見されるようになり、各方面でASRに関する研究が積極的に進められている。

ASRの判定試験方法として ASTM C 227 モルタルバー法<sup>1)</sup>(以下C 227と略す)が広く知られており、我が国でも多くの研究者がこの試験、若しくはこれに準ずる試験を用いて試験研究を行っている。

しかしながら、C 227 の試験方法を実施するにつれてこの方法の問題点や適用上のミス等について様々な体験をする機会も多くなった。

たとえば、モルタルバーのコンシステンシーを表すフロー値の ASTM と JIS との定義の違いによる混乱や、長さ変化測定器具の性能上からくる測定ミス等々。しかしながらこのような失敗は筆者らだけではないかもしれないので、このような失敗談を発表しておいた方がASRの研究を行っておられる方々に参考になるかもれないと考えられたので、ここに取りまとめを行ってみた。

### 2、C 227 と JIS とのコンシステンシーの求め方の違いによる影響

ASTM C 109 (Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars)ではフローの定義を、“The Flow is the resulting increase of the original base diameter of the mortar-mass, .... expressed as a percentage of the original base diameter”としている。我が国では JIS R 5201 (セメントの物理試験方法)で、(落下試験の後)「モルタルが広がった後の径を、最大と読める方向と、これに直角方向とで測定し、その平均値をmmを単位とする無名数の整数で表し、これをフロー値とする」と定義している。

ところが、我が国にある C 227 の訳本の多くは Flow をフロー値と訳しているため、邦訳にしたがって C 227 の試験を行うと、JIS 流でコンシステンシーを決めてしまい、C 227 で要求しているものよりはるかに硬固練りのモルタルを作ってしまう恐れが多分にあるのである。

C 227 が JISの器具や試験の方法と異なっている事項を要約すれば表-1のようになる。

すなわち、本格的に C 227に従って試験を行うとすれば 2.5cm×2.5 cm×28.5cmの型枠だけでなく、ASTM規格のフロー値を正しく再現するためにフローコーン、フローテーブルのすべてを輸入若しくは特別製作しなければならないのである。

そこで C 227で示されている flow は 105~120 という数値を JISの器具を用いて JIS方式のフロー値に換算出来ないかと考えた。

この問題を解決するためには次の2つの事項を明らかにしておかなければならない。

- 1) C 227 で用いられる flow を JIS流のフロー値で書き表わす方法。
- 2) ASTMと JISのフロー試験器具の違いによる結果の差の修正方法。

表-1 JISとASTMとの異なっている項目

項目	ASTM	JIS
供試体の大きさ	2.5× 2.5×28.5cm	4× 4×16cm
フローコーンの大きさ	φ10×φ7.5 ×7.5cm	φ10× 7.0×6.0cm
フロー落下高さ	13mm	10mm
フロー落下回数	10回/6sec	15回/15sec
フローの定義	$\text{flow} = \frac{D - D_0}{D_0} \times 100$	フロー値 D
フローの測定法	4ヶ所以上の測定の平均	最大値とそれに直角方向の測定の平均

1) は

$$\text{flow } FA = (D - D_0) / D_0 \times 100$$

$$\text{フロー値 } FJ = D$$

であるので

$$\text{フロー値 } FJ = (FA + 100) \times D_0 / 100$$

$D_0$  は 100mm であるので、結局

$$FJ = FA + 100 \dots\dots (1)$$

で表わせる。ここに

$D_0$  : フローコーンの底面径 = 100mm

$D$  : 落下試験の後のモルタルの平均径

$FA$  : ASTM流で定義したFlowの値

$FJ$  : JIS流で定義したフロー値

2) は同じモルタルを2台の試験機を用いて実際に測定し、換算式を作るのが最も簡単である。

サヌカイト質安山岩砕砂、及び富士川砂を C 227 で示される粒度分布に調整し、セメント量 300g、砂量 675g で水量を各種に変化させてFlowとフロー値を測定した結果が表-1 および図-1 である。

換算式を直線式と仮定し、最小2乗法で  $FJ$  と  $FA$  との関係を決めると次式となった。

$$FJ = 0.966FA + 100 \dots\dots (2)$$

$FJ$  と  $FA$  の意味は (1) 式と同じである。結果から考えると係数 0.966 は ASTM と JIS のフロー試験器具間の補正係数とも言うべきものであろう。また、100 は ASTM 流の標示を JIS 流に変換するための定数というべきものであろう。

(2) 式によれば C 227 で要求している Flow が 105 ~ 120 という数値は、JIS の器具と方式でフロー値を定めた場合には 201 ~ 216 であればよいことになる。

フロー値がこのような値になるときの水セメント比をみると砕砂の場合56%、川砂の場合は48%程度となり、かなり軟練りのモルタルとなる。

過去の研究例を見ると水セメント比を40%程度に設定し、非常に固練りのモルタルを用いて実験をしているものがある。

参考のために  $W/C$  (or 単位水量) の変化がモルタルバーの膨脹量に与える影響を実験によって調べてみると、図-2 のようになった。

使用骨材は九州産安山岩 (k)、供試体サイズ 4x4x16cm、アルカリ量1.03%のセメントを用いて3ヶ月後の膨脹を測定したものである。

黒丸はセメントと砂を一定にしておき、水量を変え JIS 流のフロー値を 126 から 243 迄変化させた結果である。この場合には、膨張はするが水量の大小

表-2 フロー (値) の測定値

試料名	Cg	Sg	Wg	W/C (%)	FA	FJ	骨材
1	300	675	154	51.3	86	181	サヌカイト質安山岩砕砂
2	"	"	149	49.7	73	167	
3	"	"	144	48.0	58	159	
4	"	"	139	44.8	53	145	
5	"	"	134	48.0	35	131	
6	"	"	129	43.0	18	119	
7	"	"	124	41.3	10	107	
8	"	"	157	52.3	89	183	
9	"	"	159	53.0	99	194	
10	"	"	162	54.0	103	192	
11	"	"	164	54.7	103	199	
12	"	"	169	56.3	117	209	富士川砂
13	"	"	145	48.3	108	208	
14	"	"	140	46.7	100	199	
15	"	"	135	45.0	89	188	
16	"	"	130	43.3	79	176	
17	"	"	125	41.6	59	162	

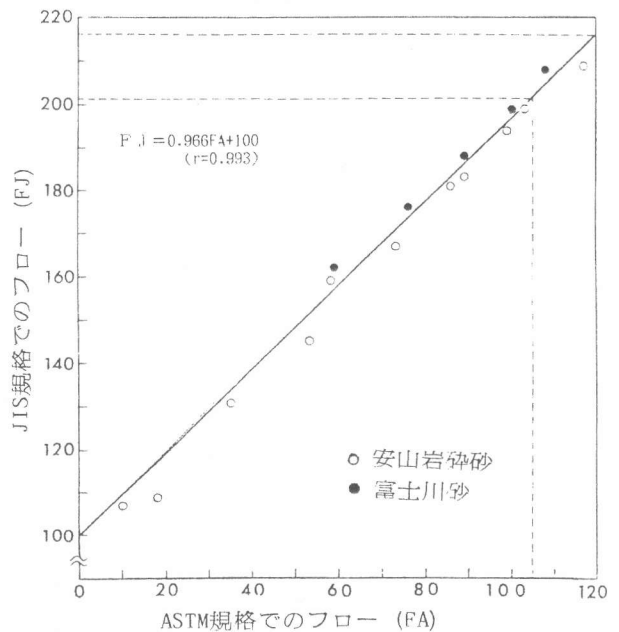


図-1 ASTMとJISのフロー (値) の比較

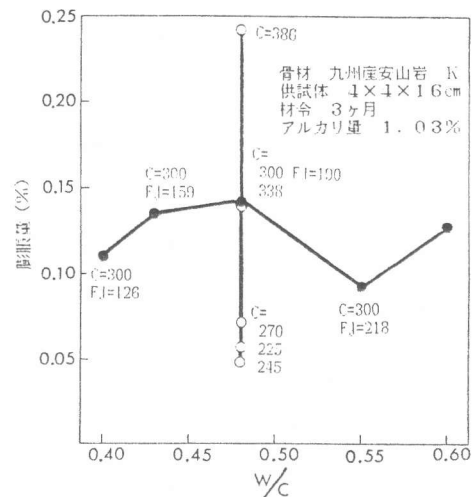


図-2 W/C, セメント量と膨脹量の関係

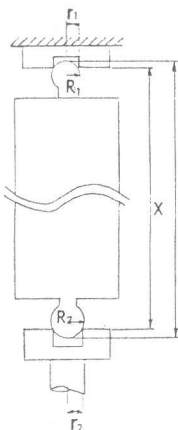
は膨脹量とあまり強い相関はないように見える。

白丸は砂量と水セメント比を一定にしておき、セメント量のを 245 g / バッチから 386 g / バッチまで変化させた場合の膨脹量を示すものであるが、セメント量の変化は単に水量だけを変化させる場合と異なって膨脹量に大きな影響を及ぼすことがわかる。

### 3、長さ変化の測定器具の構造が測定値に及ぼす影響

モルタルバーの長さ変化の測定はダイヤルゲージ方法 (JIS A 1129) によることが多い。この場合、供試体の両端に埋め込まれたゲージプラグ間の伸縮をダイヤルゲージで測定することになる。測定時にはゲージ支柱長の狂いなどを補正するために標準棒の測定も時々行っている。筆者らの経験では測定値が異常なバラツキがしばしば生じたことがあった。

最初は測定値のバラツキと考えていたが、バラツキ量が常に約 150前後であることに不審をいだき、何回かチェックをしているうちに標準棒の上下を逆にして測定すると、同じ棒の長さが 150も異なった読みになることがわかった。原因は図-3 に示すように標準尺の先端についている球状のプラグとそれを受けとめる支柱の端とダイヤルゲージ先端についている凹面の部分の両方に上下で大きさの違いがあることにあった。誤差の生ずる理論は図-3 中の式から明確にわかるが、防止対策としては標準棒、供試体の上下をはっきり区分けをしておき、測定の際には上下を逆さまにすることが絶対にならないようにすること、あるいはダイヤルゲージの先端のプラグの受け口の部分を凹部にしないで平面として、プラグの先端を接点として長さを測定するような構造に改めることである。測定機メーカーもこの事実気が付いていなかったもので、古いタイプの測定機を用いておられる方は特に注意が必要である。



$$x = L - (R_1 + R_2) + \sqrt{R_1^2 - r_1^2} + \sqrt{R_2^2 - r_2^2}$$

$$x' = L - (R_1 + R_2) + \sqrt{R_1^2 - r_2^2} + \sqrt{R_2^2 - r_1^2}$$

$R_1 = R_2$  または  $r_1 = r_2$   
 でないと  $x \neq x'$  とならない  
 但し  
 L: 標準棒の真長  
 X: 標準棒の測定値  
 X': 標準棒を逆さにした時の測定値  
 R1, R2: プラグの半径  
 r1, r2: 凹部の半径

図-3 長さ変化測定器具で誤差の生じる理由

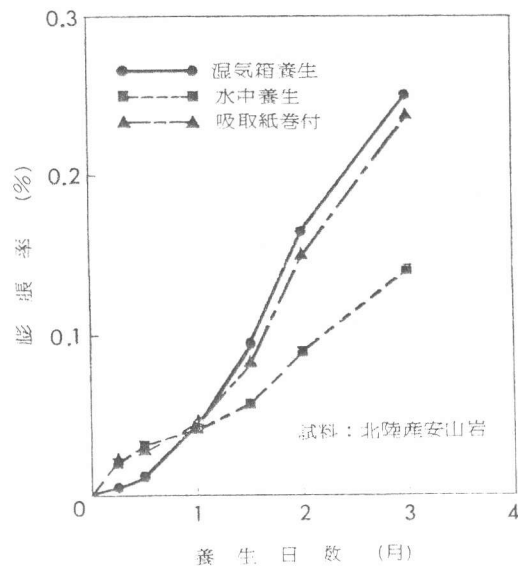


図-4 湿気条件と膨脹率

### 4、供試体の湿潤養生方法が膨脹量に及ぼす影響

C 227 によれば湿潤養生中の湿度は ASTM C 511<sup>3)</sup> に従って 90% 以上に保たなければならないとされている。湿度 90% は、底に水をはった箱を恒温槽に入れておけば容易に達せられるが、この程度の湿気の与え方では供試体は 1~2 週間は収縮を続け、中には膨脹をまったく生じないものも生ずる。湿気箱中の水を加温するか、供試体を濡れタオルで包むなどして湿度を完全に 100% にすると供試体は収縮せず、膨脹量も著しく大きくなる。まだ実験の途中であるが、その例を図-4 に示す。水をはっただけの湿気箱中に供試体を入れておく場合は、38℃ から 20℃ に温度を下けている間に供試体の温度が外気よりも温かいために、水分を大量に蒸発してしまうのではないと思われる。いずれにしても標準試験法を決めるにあたっては湿気の与え方を装置の差の生じにくい方法に改めないと同じ供試体を用いても結果がバラバラになりそ

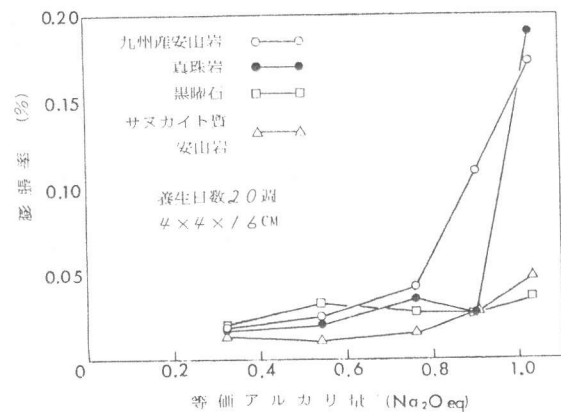


図-5 セメント中のアルカリ量と膨脹率

うな気がしてならない。

#### 5、アルカリの種類と量が膨脹量に及ぼす影響

C 227 試験を行った場合、セメント中のアルカリ量やアルカリの種類によって膨脹量が異なる<sup>4)</sup>ことは、周知の事実である。また、K<sub>2</sub>O と Na<sub>2</sub>O の膨脹に及ぼす影響度が分子量の比に等しいともいえない。筆者らの試験をしたいくつかの反応性骨材は、アルカリ量が 1%程度を越えると膨脹量が著しくなっている。

(図-4) 我が国のセメントのアルカリ量の平均といわれている 0.7~0.8 %のアルカリ量では、骨材が有害と判定される 0.1% / 6ヶ月の量まで膨脹するものはほとんど無い。このままだと、もし問題を生じているような骨材であっても、我が国で使用されている平均的なセメントであるといつて、アルカリ量が 0.7%程度のセメントを用いて試験をして無害であると結論を出す危険性がある。我が国には化学法で潜在的に有害、又は有害に入る骨材は多数あると言われながら、確実にアルカリ骨材反応をする石であるとす骨材産地が明らかになってこない理由のひとつは、この辺にあるようにも思われる。

以上から C 227に類する試験を用いた骨材の反応性の判定基準を作る場合には、セメントのアルカリ量は我が国で市販のセメントの最大値を考慮して 1.1~1.2 %の一定の値とすべきであり、また、アルカリ物質の種類による差が大きくなるように、アルカリ量の出来るだけ低いセメントをベースにしてこれに NaOH等を加えて調整したものを用いるべきであると考えられる。

#### 6、むすび

以上、モルタルバーを用いた C 227に類する試験を行う際のいくつかの問題点と解決策に対する提案を行った。

結論的に要旨をまとめると次のようになる。

- 1) C 227 を我が国で行うに際してはモルタルのコンシステンシーの取扱いに混乱を生じ易い。
- 2) JIS 規格のフロー試験機を用いてフロー値で C 227相当のコンシステンシーを得ようとする場合には(2)式によって換算することができる。
- 3) 但し、モルタルのコンシステンシーの差は、試験結果に大きな影響を及ぼさないように思われる。
- 4) 長さの測定器具のメカニズムによっては、供試体や標準棒の上下を反転すると値が変わるものがあるので注意を要する。
- 5) 供試体の加湿方法の違いにより膨脹量に大きな差が出るので、加湿養生の方法に装置の差が出にくい方法を選定すべきである。
- 6) 骨材の反応性を判定するための基準試験に用いるセメントのアルカリ量は 1.1~1.2 %とすべきであり、アルカリ量の少ないセメントを用いて定まった種類のアルカリで調整したものを用いるようにすべきである。

#### 謝辞

本試験を行うに際して、セメント協会研究所からは、ASTM方式によるフロー試験機器を貸していただいた。各種の試験の実施はコンクリート研究室 小野金造、土木研究センター 佐々木一郎の両研究員の尽力によるところが大きい。ここに感謝の意を表したい。

#### 7、参考文献

- 1) ASTM C 227-81, Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar Bar Method)
- 2) 例えば、太田 実、小野金造、河田博之、骨材の化学安定性に関する試験、土木研究所資料第1538号、1979年11月
- 3) ASTM C 551, Moist Cabinets and Rooms used in The Testing of Hydraulic Cements.
- 4) 中野錦一、小林茂広、有木義晴、反応性骨材とアルカリ化合物がアルカリシリカ反応の膨脹におよぼす影響、セメント技術年報38、1984
- 5) 小林茂敏、小野金造、河野広隆、佐々木一郎、各種アルカリがアルカリ骨材反応に及ぼす影響、第7回コンクリート工学年次講演会投稿中