

[1075] 中性化試験方法の標準化に関する研究

○正会員 和泉 意登志 (竹中工務店技術研究所)

正会員 押田 文雄 (竹中工務店技術研究所)

正会員 高 英雄 (竹中工務店技術研究所)

1. はじめに

従来、コンクリートの中性化深さの測定方法として、コンクリートの破断面にフェノールフタレインエタノール溶液を噴霧し、コンクリート表面から赤着色部までの距離を測定する方法(以下、フェノールフタレイン法と呼ぶ)が実用的な簡易試験方法として用いられてきた。中性化の判定をフェノールフタレイン法によって行うことの妥当性は、岸谷博士によって明確にされており¹⁾、森永博士²⁾、榎野博士³⁾、福島博士⁴⁾などによってもフェノールフタレイン法による呈色境界線の意味について種々の検討がなされている。また、1984年には、RIREM のCPC-18 委員会から「硬化したコンクリートの中性化深さ測定方法」指針案⁵⁾が発表されているが、実際の中性化試験の様々なケースをすべてカバーしたものではなく不十分な点が多い。

中性化深さ測定方法は、未だ溶液の種類や噴霧条件などが標準化されておらず、コンクリートの条件や測定者によって中性化深さの測定値に差異が生じる可能性があるのが現状である。実際、既存建築物のコンクリートの中性化深さを測定する場合において、着色部の境界が不鮮明である、赤く着色した部分と無着色部との間に薄いピンク色の部分がある、噴霧直後に着色せず数分後に着色する、などの中性化深さの測定が困難な場合をたびたび経験している。

本報告は、フェノールフタレイン法の標準試験法を確立することを目的として、フェノールフタレイン法によるコンクリートの着色状況に及ぼす影響因子を検討し、標準的な試験手順を示したものである。

2. 試験体

実験に使用したコンクリートは、昭和6年に竣工し、51年経過した鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の内壁より切り出した約 1.0× 1.2× 0.3mの大きさのブロックである。このコンクリートは普通コンクリートで、コア圧縮強度が約250Kgf/cm²、中性化深さが約30mmであった。

試験体は、このブロックをコンクリートカッターで約7×15×20cm (7×20cmの面が元のコンクリート表面)に切断し、水洗い後20℃、RH60%の乾燥室で28日間乾燥させたものである。

3. 試験方法

実際の中性化試験を行うコンクリートの測定面として、表-1に示す場合が考えられる。本実験では、これらの場合を想定し、実験因子として試験前の養生方法、測定面の製作方法、清掃方法、試薬噴霧までの前置き時間および噴霧後の経過時間を取り上げ、表-2に示す組み合わせで試験を実施した。なお、

表-1 実際の中性化試験におけるコンクリートの測定面

①	現場ではつりノミによってコンクリートをVカットした面
②	現場で抜き取ったコアを実験室で割裂した面
③	現場で抜き取ったコアの表面
④	実験室でカッター切断した面
⑤	実験室で水中養生した後、割裂した面
⑥	実験室で水中養生した後、カッター切断した面

現在最も一般的だと思われる、現場ではつりノミによりコンクリートをVカットするか、または現場で抜き取ったコア供試体を実験室で割裂する場合（AB1またはAB2）、および現場で抜き取ったコア供試体を実験室で水中養生した後割裂する場合（コア供試体の圧縮試験後、その供試体で中性化試験を行う；WB1）については、試薬噴霧までの前置き時間および噴霧後の経過時間の水準を多く設定した。試薬には、JIS K 8006に規定された1%フェノールフタレイン溶液（フェノールフタレイン1g+95%エチルアルコール90ml+水→100ml…含水率約15%）を使用した。なお、一部の文献⁶⁾で用いられている、試薬の含水率が約35%の1%フェノールフタレイン溶液（フェノールフタレイン1g+無水エチルアルコール65ml+水→100ml…含水率約35%）と、上述の含水率約15%の試薬との差異を検討するため、AB1の場合についてのみ、試薬の含水率2種類について中性化試験を実施した。

試験面製作の手順を図-1に示す。試験面製作後、所定の時間において、試薬をスプレーで試験面が一様に光るまで噴霧した。その後、温度20℃、湿度60%の環境条件下で





所定の時間を経過した時点において、表-3に示す指標により目視で呈色状況を判定した。また同時に、照明やカメラ等の撮影条件を一定にした状態で、スケールを添えて写真撮影を実施した。試験終了後、撮影した写真を用いて、再度中性化試験の経験者3名によって呈色状況を判定し、

表-2 実験の組合せ

試験記号	試験前の養生	測定面の製作方法	測定面の清掃方法 (試薬噴霧前処理)	試薬噴霧条件 [*]		表-1との対応
				前置き時間	経過時間	
AB1	(A)	(B) 割裂	1. プロア-吹き	I	X	①
AB2			2. プロア-吹き後水湿し	I	X	
AB3			3. 水洗い後24時間水中	II	Y	②
AS1	中 放 置	(S) カッター切断	1. 水洗い後表面乾燥	II	Y	③
AS2			2. 水洗い後表面乾燥・ 噴霧前水湿し	II	Y	
AS3			3. 水洗い・ 24時間水中後表面乾燥	II	Y	④
WB1	(W) 24 時間 標準 水中 養生	(B) 割裂	1. プロア-吹き	I	X	⑤
WB2			2. プロア-吹き後水湿し	II	Y	
WB3			3. 水洗い後24時間水中	II	Y	
WS1	中 放 置	(S) カッター切断	1. 水洗い後表面乾燥	II	Y	⑥
WS2			2. 水洗い後表面乾燥・ 噴霧前水湿し	II	Y	
WS3			3. 水洗い・ 24時間水中後表面乾燥	II	Y	

*) I ; 直後、3時間、6時間、1日、2日、3日、3日、6日、7日
 II ; 直後、3時間 (AS1, WS1のみ)、1日
 X ; 直後、1分、10分、1時間、3時間、6時間、1日、2日
 Y ; 直後、1分、10分、1時間、3時間、1日、2日

表-3 判定指標

判定	記号	呈色境界線	測定の難易
A		鮮明	技術者なら誰でも正確に測定できる。
B		やや不鮮明	専門家ならほぼ正確に測定できる。
C		不鮮明	専門家でも正確に測定できない。
D		なし	測定不能である。

その合議によって呈色状況を確認した。

呈色境界が「鮮明」と判定された場合には、写真上でコンクリート表面から呈色境界線までの距離を5箇所測定し、その平均値に補正倍率を乗じることによって中性化深さを求めた。

4. 試験結果および考察

各条件においてフェノールフタレインエタノール溶液を噴霧し、所定の時間を経過した時点における呈色状況を目視により判定した結果を、表-3に示した記号を用いて表-4～表-6に示す。また、呈色境界線が「鮮明」と判定された場合の中性化深さの測定値を表中に示した。

表-4～表-6から、フェノールフタレインエタノール溶液噴霧後の呈色状況の経時変化は、試験前の養生方法、測定面の製作方法、清掃方法および試薬噴霧までの前置き時間のいずれの因子によっても影響を及ぼされていることが分かる。

呈色境界が「鮮明」と判定された場合のコンクリート表面から呈色境界線までの距離は、試験体の相違による小さなばらつきはあるものの、いずれも約30mmであった。また、同一試験体において、呈色境界が「鮮明」と判定された場合の中性化深さ実測値は、試薬噴霧後の経過時間によって影響を及ぼされることはなく、常に一定の値であった。従って、「鮮明」と判定された場合の測定方法によって測定された中性化深さは同一の値となり、これらの方法で中性化試験を行う限り、測定方法による差異は生じないものと判断される。

以下、実際の中性化試験を行う場合の条件について考察する。

1) はつりVカット面または抜き取りコア供試体を実験室で割裂した面

ブローア吹きで清掃後試薬を噴霧する場合、測定面製作直後に試薬を噴霧し、直ぐ測定する (I-1)、測定面製作の3～6時間後に試薬を噴霧し、噴霧の1～10分後に測定する (I-2)、測定面製作の1～7日後に試薬を噴霧し、噴霧の1分～2日後に測定する (I-3)、のいずれかによって中性化深さを測定する必要がある。しかし (I-1) の条件は、実際の測定において時間的に無理がある場合が多いため、(I-2) または (I-3) の条件が実用的であろう。

ブローア吹きで清掃後、試薬噴霧前に水湿しを行う場合、測定面製作の直後～1日後の間に試薬を噴霧し、直ぐ測定する (II-1)、測定面製作の2～4日後に試薬を噴霧し、噴霧直後から2日後の間に測定する (II-2)、測定面製作の5～7日後に試薬を噴霧し、噴霧直後に測定す

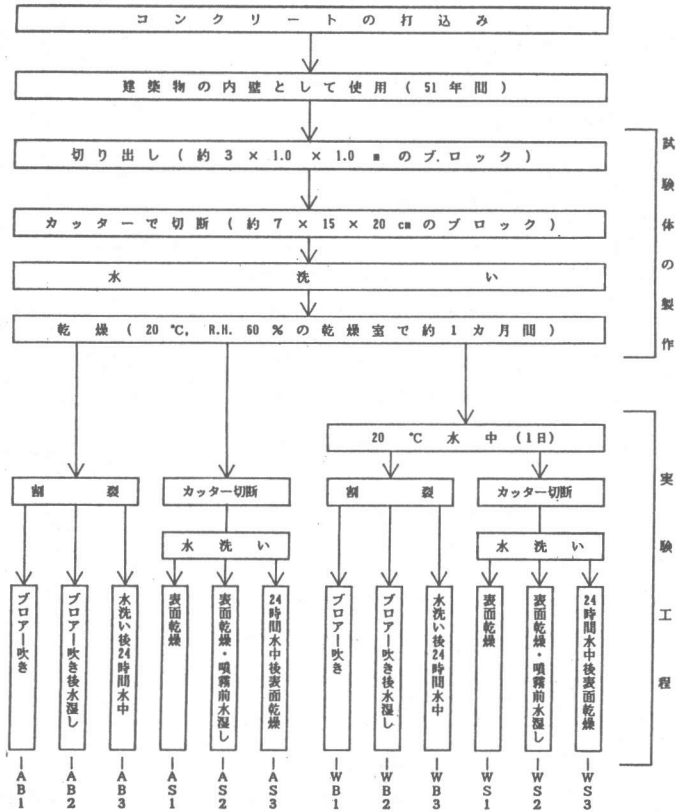


図-1 試験面製作の手順

る(Ⅱ-3), のいずれかによって中性化深さを測定する必要がある。

ブロー吹きによる清掃後, 試薬噴霧前に水湿しを行うか否かは, コンクリートの含水状態によって左右される。外壁のようにコンクリートの含水率が大きいと水湿しをしなくても鮮明な呈色境界線が得られる。本実験で用いたコンクリートのように, 通常の建築物の室内環境下における乾燥状態では, 水湿しを行っても行わなくてもよい。しかし, 特にコンクリートの乾燥が著しい場合には, 水湿しを行わないと鮮明な呈色境界線が得られない場合がある。

2) 抜き取りコア表面または
カッター切断面

カット後は水洗いし, 表面の濡れ色が認められなくなる程度までドライヤーで表面を乾燥させ, 1日間乾燥状態で静置後試薬を噴霧し, 噴霧の10分~2日後に測定する(Ⅲ-1) 必要がある。この場合, 噴霧前に水湿しを行う必要はない。また, 水洗い後水中に入れると切断面のアルカリが流出し, 鮮明な呈色が得られなくなるので水に入れてはならない。

3) 水中養生後の割裂面

ブロー吹きで清掃し, 測定面製作直後から1日後の間に試薬を噴霧し, 噴霧直後に測定する(Ⅳ-1) 必要がある。

コア供試体を水中養生する場合, 鮮明な呈色境界線を得るための条件は非常に限られている。例えば, 噴霧直後に鮮明な呈色境界線が得られても時間の経過とともに中性化領域まで呈色が拡がるが, この後から呈色した部分はその後の時間の経過とともに薄くなるという現象がある。これはコア供試体に水が浸水し, 未中性化部のアルカリが中性化領域に溶出するため, この溶出したアルカリによって中性化部が呈色するのが原因と判断される。従って, 圧縮試験用コア供試体と中性化試験用供試体を兼用しなければならないなどの理由がない限り, 中性化試験を行う供試体は水

表-4 試験結果
(気中放置、試薬含有率15%)

試験 記号	前置 時間	経過時間									
		0	1分	10分	1時間	3時間	6時間	1日	2日		
A B 1	0	28.0	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	3時間	×	31.7	○	—	△	—	△	△	△	
	6時間	×	31.6	31.5	—	○	—	○	○	○	
	1日	×	31.8	31.5	32.3	32.4	32.4	31.7	31.9	—	
	2日	×	31.2	31.5	31.2	30.9	31.2	31.7	31.4	—	
	3日	×	31.8	32.2	—	31.7	—	31.8	—	—	
	4日	×	28.8	28.8	—	28.6	—	—	29.3	—	
	6日	×	27.0	27.6	—	27.4	—	27.6	27.2	—	
A B 2	0	29.4	○	△	△	△	○	○	○	○	
	3時間	29.1	○	△	—	○	—	○	○	○	
	6時間	27.2	○	△	—	△	—	△	△	△	
	1日	27.0	27.2	○	○	○	○	○	○	○	
	2日	31.5	31.6	31.2	30.6	30.8	31.2	30.8	31.4	—	
	3日	29.5	29.2	29.0	—	29.2	—	29.5	—	—	
	4日	31.5	31.5	30.8	—	30.6	—	—	31.6	—	
	6日	31.8	○	△	—	△	—	△	△	△	
A B 3	0	○	△	△	×	—	—	×	—	—	
	1日	△	○	—	—	—	—	×	—	—	
A S 1	0	○	○	△	△	△	△	○	○	○	
	3時間	△	○	○	○	○	—	○	○	○	
A S 2	0	○	△	30.1	30.7	30.4	30.3	30.1	30.5	—	
	1日	×	△	30.1	30.0	29.7	—	29.5	30.3	—	
A S 3	0	○	○	○	△	—	—	27.8	—	—	
	1日	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

表-5 試験結果
(24時間標準水中養生、試薬含有率15%)

試験 記号	前置 時間	経過時間									
		0	1分	10分	1時間	3時間	6時間	1日	2日		
W B 1	0	○	△	△	△	△	△	△	△	△	
	3時間	26.5	○	△	—	△	—	△	△		
	6時間	32.4	△	△	—	△	—	△	△		
	1日	32.1	32.8	○	○	○	○	△	△		
	2日	×	△	○	○	○	○	○	○		
	3日	×	×	△	—	△	—	△	△		
	4日	×	×	○	—	○	—	—	○		
	6日	×	×	△	—	○	—	○	○		
W B 2	0	27.5	○	△	△	△	—	○	○		
	1日	○	27.9	○	○	○	—	○	○		
W B 3	0	△	○	△	△	△	—	△	△		
	1日	×	×	×	×	×	×	×	×		
W S 1	0	△	△	△	○	○	○	○	○		
	3時間	○	○	○	○	○	—	○	○		
W S 2	0	△	△	△	△	○	—	○	○		
	1日	○	○	27.2	27.1	27.5	—	27.4	28.0		
W S 3	0	×	△	△	△	△	—	—	○		
	1日	×	×	34.2	34.3	34.7	—	34.3	○		

表-6 試験結果
(気中放置、試薬含有率35%)

試験 記号	前置 時間	経過時間									
		0	1分	10分	1時間	3時間	6時間	1日	2日		
A B 1	0	○	△	△	△	△	△	△	△	△	
	3時間	○	○	△	△	△	—	△	△		
	1日	×	32.0	△	△	△	△	△	△		

に漬けないのが望ましい。

4) 水中養生後のコンクリートカッター切断面

水洗い後表面を乾燥し、1日後に水湿しを行ってから試薬を噴霧し、噴霧の10分～2日後の間に測定する(V-1)必要がある。この場合も(IV-1)と同様、未中性化部のアルカリが中性化領域に溶出し中性化部が呈色するので、鮮明な呈色境界線を得るための条件は限られている。

5) 試薬の含水率による呈色への影響

表-6に示した試薬の含水率が35%の呈色状況と表-4に示した試薬の含水率が15%の呈色状況とを比較すると、いずれの場合についても含水率35%の呈色状況が含水率15%の呈色状況よりも不鮮明であることが分かる。含水率35%では、呈色が薄いため呈色境界線が不明瞭である。従って、フェノールフタレインエタノール溶液の含水率は、JIS K 8006に規定されている15%とするのがよい。

6) 中性化試験要領の設定

以上の検討結果を基に、実際に中性化試験を行うことを想定した5つのケースについて、呈色境界線が鮮明に現われ、測定誤差が生じない実用的な試験要領を設定する。

試薬には、JIS K 8006に規定されている1%フェノールフタレイン溶液(含水率15%)を用いることにする。現場はつりVカット面またはコア割裂面(ケースIまたはII)、抜き取りコア表面またはコンクリートカッター切断面(ケースIII)、水中養生後の割裂面(ケースIV)および水中養生後のコンクリート切断面(ケースV)の5つのケースについて、清掃方法、前処理法、試薬の噴霧時期および中性化深さの測定時期の条件を表-7に示すように設定する。

7) RILEM Draft Recommendation CPC-18 (Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth)⁵⁾との対比

表-7に示した中性化試験要領と RILEM Draft Recommendation CPC-18 の中性化深さ測定法を、表-8に対比して示す。表-8から分かるように、本中性化試験要領と RILEM CPC-18 委員会の中性化深さ測定法との間で異なる箇所は、試薬のアルコール濃度だけであり、その他においては矛盾する点はない。試薬のアルコール濃度については、本実験において、含水率が15%の場合が35%の場合より呈色境界線が明瞭となることを明らかにしており、本中性化試験要領で用いる試薬が RILEM CPC-18 委員会法の試薬よりも優れている。また、本中性化試験要領は、RILEM CPC-18 委員会の中性化深さ測定法よりもきめ細かい内容になっている。従って、本中性化試験要領は、RILEM CPC-18 委員会の中性化深さ測定法よりも、誤差の少ない実用的な中性化深さの測定方法であるといえよう。

表-7 中性化試験要領

ケース	測定面	清掃方法・前処理法	試薬の噴霧時期	中性化深さの測定時期 (噴霧後の経過時間)
I-1	・現場はつりVカット面	ブローア吹き	直後	直後
I-2			3時間～6時間後	1～10分後
I-3			1日～7日後	1分～2日後
II-1	・コア割裂面	ブローア吹き後 水湿し	直後～1日後	直後
II-2			2日～4日後	直後～2日後
II-3			5日～7日後	直後
III-1	・抜き取りコア表面 ・コンクリート カッター切断面	水洗い後表面乾燥	1日後	10分～2日後
IV-1	・水中養生後の割裂面	ブローア吹き	直後～1日後	直後
V-1	・水中養生後のコンクリート カッター切断面	水洗い後表面乾燥、 噴霧前水湿し	1日後	10分～2日後

5. 結論

フェノールフタレイン法による呈色状況は、測定面の処理法や試薬の噴霧条件等によって大きく影響されることを実験的に明らかにした。従って、フェノールフタレイン法によってコンクリートの中性化深さを測定する場合には、測定面の条件によって試薬の噴霧時期および測定時期を選定する必要がある。

実際に中性化試験を行

うことを想定した各ケースについて、清掃方法、前処理法、試薬の噴霧時期および中性化深さの測定時期を表-8にまとめた。本中性化試験要領に基づいて中性化深さを測定すれば、測定条件や測定者の相違によるバラツキをほとんど含まない精度の高い値が得られると考える。

【参考文献】

- 1) 岸谷孝一：コンクリート中の鉄筋の腐食に関する基礎的研究（中性化とフェノールフタレイン），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和44年8月，pp.95～96
- 2) 近藤照夫，森永繁：コンクリートの炭酸化判定方法に関する問題点と考察，清水建設研究所報，第23号，昭和49年10月，pp.15～22
- 3) 岸谷孝一，榎野紀元：コンクリート中の鉄筋の腐食に関する研究（その1 コンクリートの中性化深さが鉄筋腐食に及ぼす影響について），日本建築学会論文報告集，第283号，昭和54年9月，pp.11～15
- 4) 福島敏夫，川瀬清孝，友沢史紀，赤石博：既存RC造建築物の外・内壁コンクリートの中性化と炭酸化との関連性（仕上材，含水状況，使用するフェノールフタレイン溶液の影響）日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和57年10月，pp.253～254
- 5) RIREM Draft Recommendation CPC-18：Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth, Materials and Structures, Vol.17, No.102, pp.437～440, Nov./Dec. 1984

表-8 本中性化試験要領と

RILEM CPC-18委員会の中性化深さ測定法との対比

項目	本中性化試験要領	RILEM CPC-18委員会法
試薬	フェノールフタレイン1gを95%エチルアルコール90mlに溶解し、純水を加えて100mlとしたもの (含水率：約15%)	フェノールフタレイン1gを70%エチルアルコール99mlに溶解したもの (含水率：約30%)
測定面	<ul style="list-style-type: none"> ・はつり面 ・抜き取りコアの割裂面 ・抜き取りコアの表面 ・コンクリートカッター切断面 	<ul style="list-style-type: none"> ・はつり面 ・抜き取りコアの割裂面
清掃方法前処理法	測定面の種類ごとに設定	規定なし
試薬の噴霧時期	測定面の種類と清掃方法・前処理法の別にそれぞれ設定	規定なし
中性化深さの測定時期	測定面の種類、清掃方法・前処理法および試薬の噴霧時期の別にそれぞれ設定	試薬を噴霧した24時間後
中性化深さの判定	着色後に退色する領域は中性化領域と判定	着色後24時間後に退色する領域は中性化領域と判定