

1

現場テラゾ塗り亀裂発生原因の一考察

(主として使用セメントの性状と亀裂発生との関係について)

主任研究員・工学博士 近藤芳美

§ 1. 序 説

現場テラゾ塗りは床仕上げ工事などに広く用いられているが、施工後しばしば塗面に著しい亀裂の生じることがあり、また浮上り、剝離等の現象をとまなうことも少なくなく、現場施工技術上対策の困難な問題の一つとされてきていた。

このように、技術的対策の立てがたい理由は、亀裂自体の発生原因が正確にはわかっていないためであるといえる。現場テラゾ塗りの亀裂の発生原因については従来種々の説明がなされてきているが、いずれも常識的見解を出ることがなく、その根本的な究明はいまだなされていないといつてよい。したがって、これまでに提案されている各対策も、常識的な範囲での対症療法的な方法であると言って過言ではない。

現場テラゾ塗りの亀裂原因として考えられる問題を整理すれば、一応次のとおりといえよう。

- a. 下地に原因する亀裂
- b. 施工上の不備による亀裂
- c. 塗面自体に生じる亀裂

このうち、従来主として問題とされていたのは、aおよびbによる原因であった。すなわち、下地コンクリートの構造変形または収縮亀裂が現場テラゾ塗りの塗り面の亀裂となってあらわれるという説明が常識的に行なわれ、これに対し、下地と塗り面とを敷砂、フェルト等で絶縁する、いわゆる“絶縁工法”などが解決策として提案されてきていた。

しかし、このような下地コンクリートの変形、収縮亀裂に原因するという考え方は、次の点で必ずしもすべての亀裂発生因を説明しているとはいえない。すなわち、

a) 現場テラゾ塗りに生じる亀裂は必ずしも下地コンクリートの構造変形とは関係せず、また下地コンクリートの構造亀裂、収縮亀裂の発生の有無、発生位置と一致しないことも多い。

b) 現場テラゾ塗りの亀裂は下地コンクリートに生じる構造亀裂または収縮亀裂に比し、発生状況が異常に顕著であり、亀裂幅も著しく大きい。

さらに、bの施工上の不備の問題も、入念に管理された施工現場でしばしば粗雑な工事の場合より著しい亀裂発生現象を見ることのある例などから、亀裂原因の一部とは考えられても、そのすべてと見ることはできない。

すなわち、以上に記す如き下地亀裂の問題または施工上の問題は、現場テラゾ塗りの異常亀裂発生の一誘因又は一理由ではあっても根本原因とは考えられない。

したがって、その根本原因は塗面自体の中にあるものと考えなければならない。すなわち、現場テラゾ塗りの使用材料、調査などの中に、異常亀裂の特別な原因が究明されないままに残されているものと思わなければならない。

筆者は主として次の事実から、現場テラゾ塗りの亀裂発生の重要原因が、使用セメントの性状にあるのではなからうかという推定をいただき、現場事例についての調査研究を行なってみた。すなわち、

- a) 普通ポルトランドセメント使用の場合よりは、白色セメント使用の場合の方に一般に亀裂が生じやすい。
- b) セメントの店頭購入品を使用する小業者の施工の場合に亀裂が生じやすい。
- c) 亀裂発生状況が異常に顕著であり、それが異常凝結性セメントを使用した場合のコンクリート、またはモルタルの亀裂と類似することが考えられる。

調査は使用セメントのほか、使用骨材、および調合等についても併行して行ない、それらの点に亀裂発生の特
別な原因があるかどうかとも検討してみた。

§ 2. 現場例に対する調査

調査を行なった工事例は表一に記すとおりである。

すなわち、1960年8～10月の間に、都内工事において床仕上げ工事に現場テラゾ塗りを施工中のものであり、白色セメントを使用しているものを対象とする。

表一 調査対象工事例

記号	工事現場名
M	中央区 Mビル
N	新宿区 N会館
B	台東区 B会館
S	(比較試験用試料)

試料はすべてこれらの現場より実際施工中のものを採取した。(ただし、Sは比較試験用白色セメント直接購買品とする。)

調査試験は主として、次の点について行なった。

a) セメント

- i) 風化状態の判定
- ii) 初期凝結速度試験
- iii) 初期収縮率測定

b) 骨材

- i) 吸水率
- ii) 粒度分布

c) 調合

- i) 調合割合
- ii) 調合水量

上記の試験を行なう理由は、現場テラゾ塗りに発生する亀裂が使用セメント(白色セメント)の異常凝結性に関係し、かつその異常凝結性が風化現象に原因するものではなからうか、と考える筆者の推定を確かめるためである。

また、使用骨材(種石)の吸水率、粒度分布の試験、および現場テラゾ塗りの調合等も一応試験し、亀裂原因の有無を検討することとした。

A. セメント

i) 風化状態:

現場テラゾ塗りに使用されるセメントは普通施工業者

持ちとされ、小業者の場合、店頭購入品による例が多く、白色セメントについては特に風化の進行したものを
用いる危険が考えられる。このため、試料セメントに対し、最初に風化状態の判定試験を行なってみた。

風化の判定には比重、および化学分析試験による強熱減量の測定を用いた。

試験の結果は表二に示すとおりとなった。すなわち標準試料Sに比し、試料M、およびNはいずれも比重小、強熱減量大となり、現場使用材料が一般に風化の傾向を示していると考え得られることが明らかにされた。

表二 試料セメントの比重と強熱減量

試料	比重	強熱減量(%)
M	3.05	2.16
N	3.05	2.13
B	—	—
S	3.10	1.66

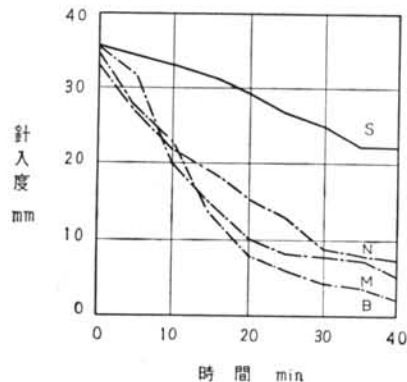
ii) 初期凝結速度試験:

各試料セメントに対し、その異常凝結性の判別のため、初期凝結速度試験を行なってみた。試験の結果は表三、および図一に示すとおりであった。

すなわち、標準試料Sが正常凝結性を示すのに対し、試料M、N、Bはそれぞれ急速凝固の傾向を示し、異常凝結性の傾向を示すことが明らかであった。

さらに、図一に示す如き試料M、N、Bの各初期凝結速度曲線の線状は、筆者の既往研究により、風化に原因する異常曲線であることが判断された。(風化による異常凝結性セメントの初期凝結速度曲線は、緩屈曲性異常曲線の特長を示すのが普通である。後述参照。)

以上より、現場採集試料M、N、Bはすべて、風化に



図一 試料セメントの初期凝結速度曲線

よる異常凝結性の傾向を有するセメントである事実が考えられる。

(附記：初期凝結速度試験の方法は参考文献1による。)

表-3 初期凝結速度試験結果

試料	No.	w/c	計 入 度 mm									
			0	5	10	15	20	25	30	35	40	
M	1	29.0	35.0	31.0	20.0	15.0	10.0	8.0	7.5	7.0	5.0	
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	\bar{x}	29.0	35.0	31.0	20.0	15.0	10.0	8.0	7.5	7.0	5.0	
N	1	28.0	32.5	28.0	20.5	15.0	11.0	11.0	7.0	5.5	5.0	
	2	28.5	33.7	30.5	26.0	21.6	16.0	11.3	9.0	7.5	6.0	
	3	29.0	32.0	24.0	20.0	20.0	19.5	16.7	10.0	10.0	9.0	
	\bar{x}	28.5	32.7	27.5	22.2	18.9	15.5	13.0	8.7	7.7	6.7	
B	1	29.5	35.0	30.5	24.5	14.5	8.7	6.3	4.7	4.0	1.5	
	2	29.5	34.5	28.0	24.0	16.0	8.5	7.0	4.0	4.0	2.0	
	3	29.5	34.0	25.0	20.0	10.0	6.3	5.0	3.0	2.0	2.0	
	\bar{x}	29.5	34.5	27.8	22.8	13.5	7.8	6.1	3.9	3.3	1.8	
S	1	30.0	34.8	34.5	31.5	31.0	27.0	24.5	24.0	22.5	20.5	
	2	30.0	35.5	34.0	33.5	31.5	29.5	27.5	24.5	22.5	22.0	
	3	30.0	37.0	35.0	34.5	32.8	32.0	28.5	26.5	25.5	24.0	
	\bar{x}	30.0	35.8	34.5	33.2	31.8	29.5	26.8	25.0	22.5	22.2	

iii) 初期収縮率測定；

同様の試料セメントに対し、初期収縮率測定試験を行なってみた。ここに初期収縮率とは、水和直後から24時間経過後までの間のモルタル収縮率をいう。

試験方法は次のとおりである。

(a) 材 料

セメント・・・試験用セメント
砂・・・豊浦標準砂
水・・・水道水使用

(b) モルタル調合

セメント	砂	水(w/c)
1	1	40%

(c) 試験体寸法

6×20×150(mm)

測点距離≒100mm

(d) 試験体作成

ガラス台上に銅粉、錫箔を敷いた上型枠(鉄製)を置き、試験用モルタルを充填成型する。モルタルは混練時間1.5分。混練後手早く充填、ただちに型枠

を除去、測点を附着させ、ガラス台ごとコンパレーターに置き、基準長測定を行なう。測点には顕微鏡用カバーガラスを錫箔にて包み、十字刻線を入れたものを用いる。モルタル充填開始から基準長測定までの時間は1分とする。

(e) 試験体養生

デシケーター中に保存。(温度20±1°C, 湿度45±3%)

(f) 測定装置

コンパレーター(JIS A 1125 規定)による。

(g) 測定時間

0, 1, 2, 3, 6 (時間)

(h) 測定方法

試験体をデシケーターより取り出し、コンパレーターにより両測点間の長さを測定、収縮率を次の如く算出する。

$$\text{収縮率(\%)} = \frac{\text{両測点間の長さmm} - \text{基準長mm}}{\text{基準長mm}} \times 100$$

(i) 収縮率の数値

各個の試験体の測定結果の平均値による。

各試料についての試験結果は表-4、および図-2に

表-4 初期収縮率測定結果

試料	No.	収 縮 率 %				
		0 h	1 h	2 h	3 h	6 h
M	1	0	0.15	0.29	0.34	0.32
	2	0	0.14	0.25	0.29	0.25
	3	0	0.18	0.39	0.44	0.38
	4	0	0.22	0.41	0.41	0.33
	5	0	0.15	0.46	0.50	0.47
	6	0	0.16	0.40	0.42	0.37
\bar{x}	0	0.17	0.37	0.40	0.35	
N	1	0	0.11	0.36	0.33	0.38
	2	0	0.15	0.24	0.26	0.26
	3	0	0.19	0.26	0.27	0.31
	4	0	0.32	0.40	0.49	0.47
	5	0	0.13	0.27	0.29	0.29
	6	0	0.25	0.37	0.36	0.36
\bar{x}	0	0.18	0.32	0.33	0.36	
B	1	0	0.11	0.21	0.21	0.27
	2	0	0.02	0.13	0.22	0.22
	3	0	0.04	0.13	0.16	0.20
	4	0	0.07	0.24	0.30	0.30
	5	0	0.08	0.22	0.24	0.24
	6	0	0.11	0.29	0.32	0.28
\bar{x}	0	0.07	0.20	0.24	0.25	
S	1	0	0.11	0.11	0.14	0.22
	2	0	0.03	0.07	0.09	0.09
	3	0	0.04	0.09	0.10	0.10
	4	0	0.06	0.13	0.18	0.18
	5	0	0.09	0.10	0.13	0.15
	6	0	0.04	0.14	0.15	0.15
\bar{x}	0	0.06	0.11	0.13	0.15	

示すとおりととなった。

すなわち、現場採取試料M, N, Bはいずれも標準試料Sに対し初期収縮率が大きく、その比率は材令3～6時間において1:2～3の範囲となる。

このような現場採取試料と標準試料との初期収縮率の比率の関係は、筆者の既往研究による、「異常凝結性セメントと正常凝結性セメントとの初期収縮率比較実験の関係」と一致している。

B. 骨材

i) 吸水率;

調査対象とした各工事の使用骨材(種石)は、いずれも白色大理石砕石であった。

その吸水率測定結果は下表の通り。

表一四 種石の吸水率

試料	吸水率 (%)
M	—
N	0.6
B	0.7

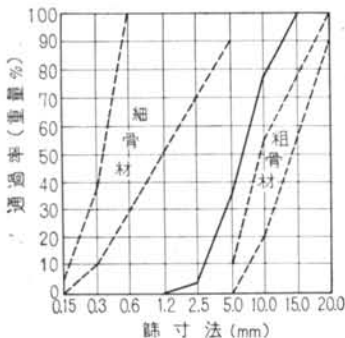
ただし吸水率は試料を24時間浸水、のち 100～110°C に恒量になるまで乾燥し、両者の重量差を測定して求める

試験結果により、使用骨材自体の吸水率は小さく、それが現場テラゾ塗り亀裂の主要原因となるとは考えられない。

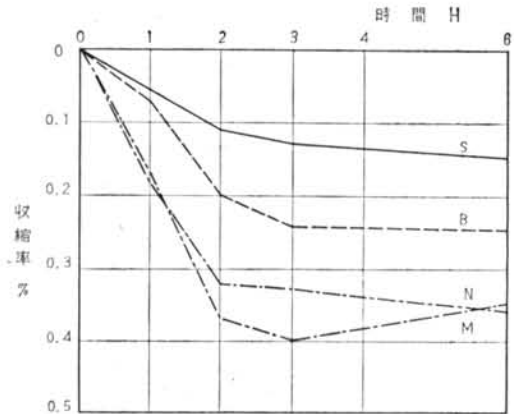
ii) 粒度分布;

現場テラゾ塗りに実際に施工されている種石の粒度分布状態を知るため、試料Bにつき、洗い試験後の骨材部分につきふるい分け試験を行ってみた。結果は図一三に示すとおりでである。

すなわち、粒度は15mm～2.5mmの間に分布し、微粒子が不足しているが、JASS 5 に規定する範囲にあって



図一三 種石のふるい分け試験結果(試料B)



図一四 試料セメントのモルタル初期収縮率

特に異常があるとは考えられず、それが亀裂発生の特殊な原因になるとも考え得られない。

他の試料についてもほぼ同様の状態と思われたので、試験は省略した。

C. 調合

i) 調合割合;

現場テラゾ塗りの施工中のものより試料をとり、セメントと骨材との調合割合を洗い分析試験によって求めた結果は次のとおりである。ただし試料はBの場合について行ない、他は省略した。

表一五 現場テラゾ塗りの実際調合割合(重量比)

	セメント	種石
調合比	1	2.09

ii) 調合水量;

同様に試料Bにつき実際調合水量を分析調査してみた結果は、w/c=29.2%となった。

この結果も、一般に実施されている現場テラゾ塗りの、硬練りの使用水量の範囲にあるものと考えられる。

すなわち、調合割合、調合水量等に特別に亀裂発生产因となるような異常な点は認められない。

D. 試験結果の考察

以上の各調査試験結果から次のことが要約できる。

- 試料セメント(白色セメント)はいずれも風化の傾向を示していた。
- 試料セメントの初期凝結速度曲線は、いずれも風化による異常曲線の特長を示し、異常凝結性の傾向を示していた。

- c) 各試料セメントの初期収縮率は標準試料（正常凝結性）に比し、いずれも増加の傾向を示していた。
- d) 種石の吸水率、粒度分布、ならびに調合等に特に亀裂発生の原因となる異常は認められなかった。

以上より、現場テラゾ塗りの異常亀裂の発生原因となるものに、その使用セメントの風化による異常凝結性の発生があり、異常凝結性による早期凝固と、初期収縮率の増加が考え得られる事が明らかにされた。

この事は、白色セメント使用の場合に現場テラゾ塗りの亀裂発生の著しいこと、および小業者の施工の場合に亀裂の生じやすいという経験的事実とも符号する。すなわち、現場テラゾ塗りに使用するセメントは、多くの場合小業者による店頭買いとなされ、白色セメントの場合には特に小量購入のため、風化進行品を使用する危険があり、したがって、異常凝結性セメントを不用意に施工に用いている場合が多いと判断される点である。

§ 3. セメントの風化と亀裂発生との関係

セメントの風化と異常凝結性との関係、および異常凝結性と初期収縮率との関係については、筆者の既往研究がある。それを要約すれば次のとおりである。ただし、この研究において、実験には普通ポルトランドセメントを用い、風化発生のためには湿室放置による強制風化方法を用いた。

A. 風化と初期凝結速度曲線の関係

試料セメント（正常凝結性）を湿室（湿度85%、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ）中に放置、強制風化を行なわせ、その初期凝結速度曲線の変化を求めた実験結果は、図-4に示すとおりである。

すなわち、図に見る如く、正常セメントは風化の進行と共に初期凝結速度曲線が急傾斜の彎曲線状となり、緩屈曲性異常曲線に変化して行き、風化による異常凝結性の特長的性状を示して行く。この特長は前記の現場事例に対する試験結果とも一致する。

B. 風化と初期収縮率との関係

前記と同様の強制風化セメントについて、そのモルタル初期収縮率の変化を求めた実験の結果は、図-5に示すとおりである。

すなわち、正常凝結性セメントは強制風化により異常凝結性に移行すると共に、その初期収縮率をも増大させ

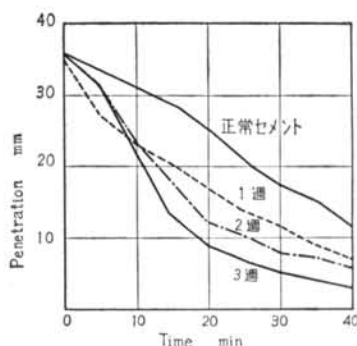


図-4 強制風化と初期凝結速度曲線

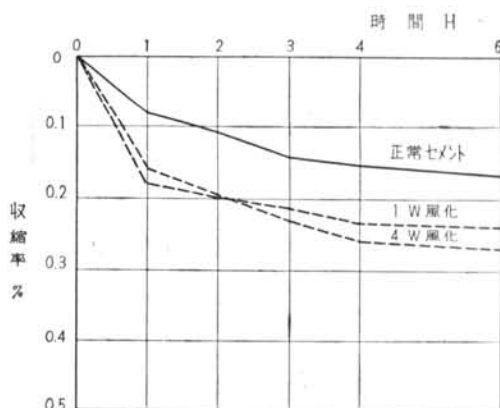


図-5 強制風化とモルタル初期収縮率

て行く傾向を示す。

ただし初期収縮率測定試験方法は前節に記すものと同様である。

このように、風化試料の初期収縮率が正常試料に対して増大する理由は、セメント中の風化生成物による混練水の異常な吸着喪失によるものと考えられる。この事實は、正常セメントに酸性白土、珪藻土などの吸水性混和物を混入し、そのモルタル初期収縮率の変化を求めた実験によって説明することができる。

C. 風化と亀裂発生との関係

このような、風化による異常凝結性の発生と亀裂発生との関係は、次のように説明し得る。

すなわち、異常凝結性による粘稠性の喪失は伸び能力の喪失となり、それと前記の初期収縮率の増加とが相互に関連し、

収縮量 \geq 伸び能力

の関係が生じたとき、コンクリートまたはモルタルに亀裂が発生する。このような、凝結進行の間において発生する亀裂を早期亀裂と呼び、硬化期間に発生する長期亀裂と区別して考える。風化セメントを使用した場合、現場テラゾ塗りに発生すると考えられる亀裂も、このような早期亀裂の一種であると考察される。それが長期間に発生する事のあるのは、早期亀裂の各種の抱束条件によるところの潜在現象のためと考えればよいであろう。

§ 4. 調査現場と亀裂発生状況

前記の各調査現場に対し、施工完了後約6ヶ月を置いて実際亀裂の発生状況を調べてみた。

調査方法として、各現場の施工担当者（左官業者）の報告を求めたが、詳細な解答が得られたのは現場例“M”だけであり、他は報告が簡単のため筆者の所見によって補った。

以下その概要を記す。

A. 現場例“M”の場合

床テラゾ塗りにおける、施工6ヶ月経過後の亀裂発生状況（エレベーターホール廻り）は、図-6～13に示すとおりであった。ただし、この工事例は鉄骨鉄筋コンクリート造10階建、7階以上には軽量コンクリートが使用されている。

調査による所見を要約すれば次のとおり。

- i) 亀裂は各階床に全般にわたって発生している。（図-6～13参照）
- ii) 亀裂発生は不規則的であるが、亀裂発生個所が各階にわたり共通しているものもある。
- iii) 構造が立体的に変化する個所（例、スラブと階段の間）は、コンクリートが連続的に打設されていても顕著な亀裂が発生する。
- iv) 各隅角部分にも亀裂が生じやすい。
- v) 亀裂発生は目地割りとは無関係であり、また目地間隔長手1M以上のものには大体に亀裂が生じている。
- vi) 普通コンクリート下地部分よりも軽量コンクリート下地部分の方がやや亀裂発生が著しく、かつ亀裂幅も大きい。
- vi) 亀裂幅は1mm程度のももあり、材令経過と共に

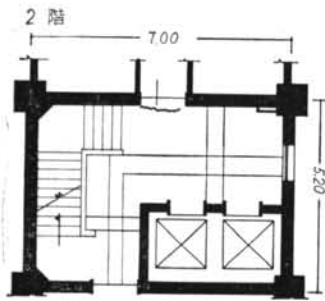


図-6

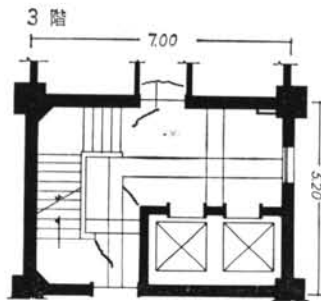


図-7

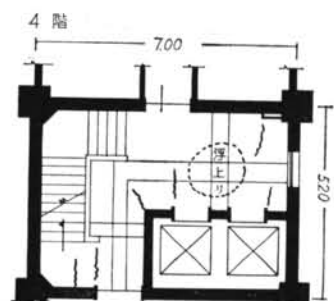


図-8

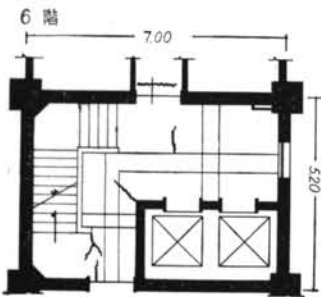


図-10

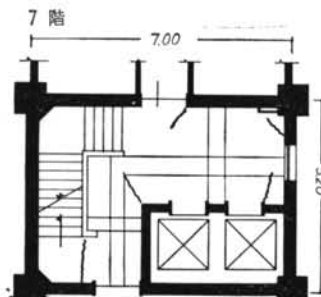


図-11

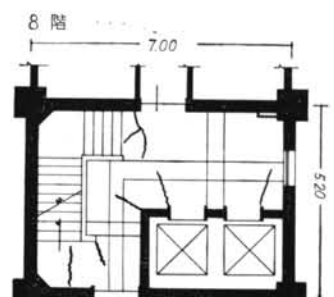


図-12

に増大する傾向を有する。

vii) 一部に浮上り、剝離も生じている。

以上のとおりであり、亀裂発生は建物床全体にわたって不規則的であるが、特に亀裂の生じやすい箇所があり、また下地コンクリートによる誘発原因も無視し得ない事が調査結果から考えられる。

B. 現場例“N”の場合

1階ショールーム床において、独立柱の四隅から放射状に顕著な亀裂が生じた。亀裂幅1mm程度。また床梁位置に沿って微少な亀裂が発見された。

C. 現場例“B”の場合

調査結果は不明である。

§ 5. 結 論

以上の研究を要約すれば次のとおり。

a) 実際施工中の現場テラゾ塗りから採取した試料3例について行なった調査試験によれば、各工事の使用セメント（白色セメント）はいずれも風化による

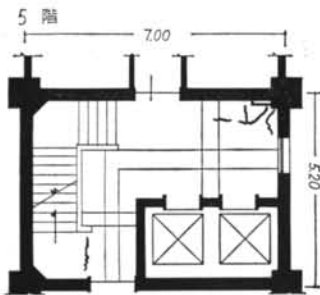


図-9

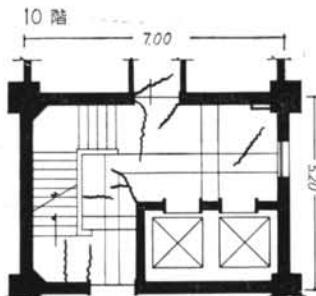


図-13

異常凝結性発生の傾向を示し、また初期収縮率も大きい結果を示している。

b) 同じ試料による骨材、および調合等の各試験では、特に亀裂発生の原因となるような異常は認められなかった。

c) 上記の試験を行なった現場事例3例につき、施工6カ月後の亀裂発生状況の調査を行なった結果は、1例に顕著な亀裂および浮上り現象が建物床全般に生じ、他の例にも一部に亀裂が発生したことが確認された。

d) 以上より、現場テラゾ塗りに発生する亀裂は主として使用セメントの風化による異常凝結性に関係し、異常凝結性にもとづく早期亀裂の一種であることが考察される。

e) 現場テラゾ塗りの亀裂発生にしばしばともなう浮上り、剝離、またはそりの現象も、同様に使用セメントの異常凝結性のためと判断し得る。すなわち異常凝結性セメント使用の場合、レイタンスの発生の著しいことがあり、附着面に生じるレイタンス層のため、塗面の急速凝固と共に浮上り、剝離、そり等が生じやすくなるものと考えられる。

f) ただし、現場調査例により知り得る如く、軽量コンクリート下地の場合に普通コンクリート下地より亀裂発生が著しい事実などから、下地コンクリートの構造変形または硬化収縮による影響、あるいは下地面処理の不完全、塗厚の過少、研出し時期の不適当などによる施工上の副次的原因も無視し得ないことは明らかである。

以上より、現場テラゾ塗りに発生する亀裂の防止対策として、次の考慮が必要となる。

a) 風化の傾向のあるセメントの使用をさける。（このためには、従来の如き下請業者の材料持ち、すなわち少量の店頭購入の慣例をやめ、少量の場合は現場で材料支給の方法等を考えるべきであり、同時に入荷後のセメントの貯蔵にも、風化に対する十分の注意を払うべきであろう。）

b) 使用前のセメントに対し、風化の判定および初期凝結速度試験を実施し、異常凝結性の検査を行なう。（白色セメントの場合、新鮮な場合にもまた異常凝結性の生じている例が考えられる。この場合にも同様に亀裂発生の危険をとまらう。）

c) 混練を完全に行なう。（混練時間を延長することにより軽微な異常凝結性は除去されると共に、逆に混練の不十分な場合、正常セメントが異常凝結性と同

様の早期凝固の傾向を示すことも実験例により明らかである。）

<附記・1>

以上のようなセメントの性状に対する注意のほか、現場テラゾ塗り亀裂防止のため従来提案されている各対策を考慮すべきことは言うまでもない。

<附記・2>

セメントの異常凝結性が亀裂発生と関係のあることは、筆者の既往研究により明らかであるが、異常凝結性

がすべての場合に亀裂発生をともなうとはかぎらない。現場テラゾ塗りの場合、両者の関係をさらに確認するためには、今後なお多数の現場に対し調査研究を行なう必要がある。

<参 考 文 献>

- (1) 近藤芳美 『コンクリートの早期亀裂とその防止対策の研究』 学位請求論文, 1961年3月