

直床仕上げの施工管理手法に関する実験的検討

－施工工程およびフレッシュ性状の調査－

An Experimental Study of a Construction Management Method

Involving Direct Floor Finish on Concrete Slab

- Research on Concrete Construction Processes and Properties of Fresh Concrete -

伊藤 淳* 河野政典** 赤星博仁* 門井大祐***

要 旨

直床仕上げにおける表層剥離の発生を防止する施工管理手法について検討するため、ブリーディングとプロクター貫入試験によるコンクリート表層の硬化状態の測定、押え作業工程の調査と仕上げ状態の観察を行った。その結果、機械ごてによる羽根（ブレード）押え作業の開始のタイミングは、ブリーディングの発生割合が90%以上となった時点に対応していたことが確認され、そのタイミングで押え作業が実施された結果として、表層剥離は生じなかった。また、プロクター貫入試験による貫入抵抗値が1.5N/mm²以上の場合でブリーディングの発生割合が90%以上であることが確認された。得られた調査結果に基づき、プロクター貫入試験による直床仕上げの施工管理手法を提案した。

キーワード：コンクリート、直床仕上げ、ブリーディング、貫入抵抗値

1. まえがき

昨今のインターネットによる通信販売市場の急成長に伴い、物流施設のニーズが高まっており、大型物流施設の施工件数が多い状態が継続している。物流施設の床の仕上げは、コンクリートの直床仕上げの場合が多く、コンクリートのひび割れ防止や平坦性確保などの高い品質管理が必要となる。また、発注者によっては、物流倉庫としての商品価値を高めるため、コンクリート表面の色合いや光沢などの美観性が強く求められる場合もある。

直床仕上げは、一般的に図-1に示す施工手順に沿って実施されており、押え作業の工程は、写真-1に示す機械ごてが用いられている。機械ごての導入により、押え作業の省人化・省力化、コンクリート表面の仕上げ精度および、品質の向上が図られている^{1)~3)}。また、コンクリート表面の美観性として光沢度が求められる場合、「鏡面仕上げ」とするため、金ごてによる押え磨き回数を多くする。この磨き回数を多くすることにより、光沢

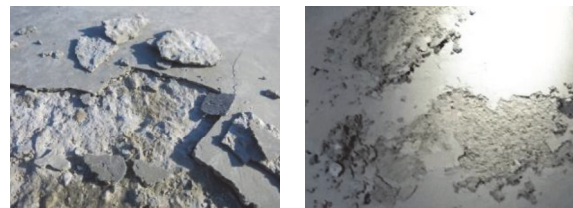


工程：円盤押え（アマ出し） 羽根押え
機械： トロウエル



工程： 羽根押え 鏡面仕上げ
機械： 騎乗式 モスキート

写真-1 押え作業工程と機械ごての種類



硬化後の表層剥離 表面仕上げ工程中の剥離

写真-2 コンクリート表層の剥離

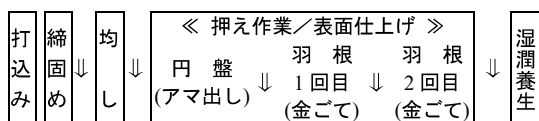


図-1 コンクリート表面仕上げの標準的な施工手順

*技術研究所建築研究グループ **技術研究所企画・管理グループ ***東日本支社建築工務部

度が高まるものの、その一方で、過度な押えによって、コンクリート表層が剥離する事例(写真-2)が報告されている。この剥離は、コンクリート表層の硬化状態および、ブリーディングの発生時期が大きく影響していると考えられている^{4)、5)}。

コンクリートの表面仕上げの作業については、作業員が打込み後のフレッシュコンクリートの状態、いわゆる“縮まり具合”を見極めながら作業を進めている。各作業工程のタイミングについては、作業員の経験に依存しており、仕上げ作業のタイミングとフレッシュコンクリートの状態の関係、およびそれらと表層剥離との関連性については不明な点が多い。そこで、本報では、直床仕上げによる表層剥離の発生を防止するため、直床仕上げ仕様である実建物の工事現場に納入されるコンクリートを調査対象とし、実施工に先だて、剥離現象や押えのタイミングに影響するブリーディングとコンクリート表層の硬化状態の測定を行った。また、押え作業の工程と仕上がり状態の観察を行い、それらの関連性について分析し、直床仕上げの施工管理手法について検討した。

2. 調査概要

2.1 調査対象

調査を実施したコンクリートの基本仕様と押え作業方法を表-1に示す。工事現場に納入予定である生コン13工場のコンクリートについて調査した。呼び強度の範囲は27~36で、呼び強度27、30ではAE減水剤を使用し、呼び強度33、36では高性能AE減水剤を使用したコンクリートである。なお、今回の調査は直床仕上げでない部材などを利用し、試験的に直床仕上げ施工を実施した。

機械ごてはトロウエルを標準として使用し、No.3~5の仕上げにおいてはモスキートを、No.6'、7'では騎乗式を使用した。

調査を行ったコンクリートの調査を表-2に示す。セメントは全て普通ポルトランドセメントである。

2.2 試験項目および方法

試験項目および方法を表-3に示す。コンクリート表層の硬化状態をプロクター貫入試験により測定した。貫入試験の測定は床部材と供試体で実施し、その供試体試料とブリーディング試料については、施工箇所に打ち込まれたコンクリートから採取した。

ブリーディング試験

a. ブリーディング試験の状況を写真-3に示す。ブリーディング試験については、JIS A 1123を参考にしたが、コンクリート試料の高さについては、施工箇所の床部材の厚さと同一とした。ブリーディング量は採取したブリーディングによる水量とし、コンクリートの表面をコテで均した直後から、60分まで10分ごとにコンク

表-1 コンクリートの基本仕様と押え方法

No.	呼び強度	化学混和剤	表面塗布剤	床部材厚さ(mm)	機械式仕上げ		
					トロウエル	モスキート	騎乗式
1,2	36	高性能AE減水剤(SP)	○	200	○	-	-
3,4,5					○	○	-
6,7					○	-	-
6',7'					○	-	○
8,9					○	-	-
10,11	30	AE減水剤	-	200	○	-	-
12,13	27	(AE)	-	200,300	○	-	-

表-2 コンクリートの調査

No.	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					Ad (kg/m³)
			W	B		S	G	
				C	EX			
1	44.9	47.5	165	367	-	826	949	4.04
2	46.5	45.1	165	355	-	802	1005	4.26
3	45.3	44.8	165	365	-	791	1004	3.65
4	47.0	46.1	165	352	-	823	988	3.34
5	45.2	46.2	168	372	-	806	979	3.16
6,6'	44.2	45.8	165	373	-	809	983	3.73
7,7'	45.5	44.1	164	361	-	786	1021	3.61
8	47.0	45.0	175	372	-	790	976	2.64
9	47.0	45.9	175	372	-	788	936	2.64
10	52.9	47.0	178	337	20	821	936	3.37
11	52.4	46.5	176	336	20	815	950	3.70
12	54.7	45.2	175	320	20	789	993	3.20
13	55.8	47.1	175	314	20	836	950	4.08

セメント(C), 膨張材(EX), 細骨材(S), 粗骨材(G), 化学混和剤(Ad)

表-3 試験項目および方法

試験項目	試験方法
ブリーディング試験	JIS A 1123を参考とし、打込み後60分まで10分間隔で計測し、その後30分間隔ごとに計測した。容器は鋼管を使用し、試料の高さ(厚さ)は床部材の厚さに合わせた(なお、No.6',7'では実施なし)
貫入試験	JIS A 1147に規定されるプロクター貫入抵抗試験器を用いて針頭5mmを5秒間で貫入させる。測定は、容器は塩ビ管(φ200×300mm)を使用した供試体と床部材で、各押え作業の開始前に貫入試験を実施



試験容器

採取状況

写真-3 ブリーディング試験の状況

リートの表面に浸み出した水を吸い取り、その後、ブリーディングが認められなくなるまで、30分ごとに水を吸い取った。また、最終時まで累計した水量との比をブリーディングの発生割合とし、(1)式により算出した。

$$\frac{\text{任意時まで累計した水量 (cm}^3\text{)}}{\text{最終時まで累計した水量 (cm}^3\text{)}} \times 100 = \text{ブリーディングの発生割合 (\%)} \quad (1)$$

b. 貫入試験

JIS A 1147 のコンクリートの凝結時間試験方法では、コンクリートからふるい分けしたモルタルに、貫入針の針頭を25mm貫入させるが、ここでは、現場打設された床部材のコンクリートを直接評価することとし、針頭の貫入深さを5mmとした。これは、コンクリート表層部分の仕上げ管理を対象としていること、およびコンクリート表面から貫入した場合、表面近傍に粗骨材が存在すると、安定した測定値が得られ難いことからである。

測定は床部材と供試体で実施した。供試体測定用の試験器具を写真-4に、貫入試験の状況を写真-5に示す。供試体では測定面積が限られるため、試料を容器に採取した後、コンクリート表層の粗骨材を写真-4に示す剣山を用いて強制的に沈下させ、安定的な測定値が得られるよう測定面積を確保した。なお、供試体表面を床部材と同一条件とするため、供試体にはふたをせず静置した。

貫入試験は、スラブ表面の機械ごての仕上げ工程に合わせ、床部材および供試体で同時に実施した。

貫入抵抗値は、コンクリート表面から5秒間で5mm貫入したときに要した力を装置から読み取り、(2)式により算出した。

$$\frac{\text{貫入に要した力(N)}}{\text{貫入針の断面積(mm}^2\text{)}} = \text{貫入抵抗値(N/mm}^2\text{)} \quad (2)$$



塩ビ管容器 表層の粗骨材を沈下させる剣山

写真-4 貫入試験に用いる試験器具



床部材 供試体

写真-5 プロクター貫入試験

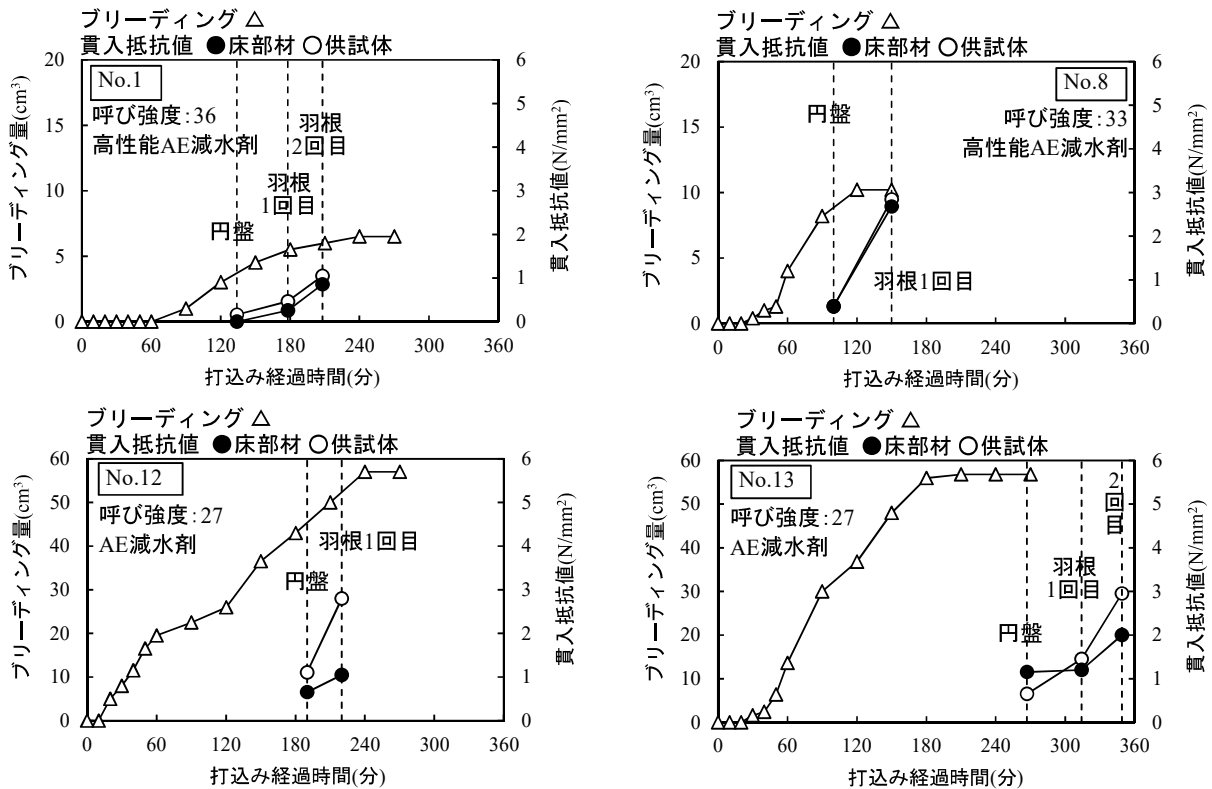


図-2 ブリーディング量、および貫入抵抗値の時間変化

3. 作業工程の調査および試験結果

3.1 作業工程とブリーディングおよび貫入抵抗値の関係

ブリーディング量、および貫入抵抗値の時間変化の一例を図-2に示す。同図より、水結合材比(W/B)や使用材料は違うものの、高性能 AE 減水剤を用いた調査は、AE 減水剤を用いた調査に比べ、日本建築学会の「高性能 AE 減水剤コンクリートの調査・製造および施工指針・同解説」⁹⁾に示されているように、ブリーディングの発生量が少なく、また、発生開始のタイミングも遅い傾向にあった。

コンクリートの押え作業は、コンクリートの締め具合を見極めながら行われるが、円盤押えのアマ出し作業の開始は、貫入抵抗が測定可能な初期段階で行われ、その後に行われる羽根押え作業の開始は、貫入抵抗値が増大した状態で行われていた。

各押え作業時の貫入抵抗値を図-3に示す。床部材の一部データに、供試体の数倍大きい値を示しているものがあるが、床部材コンクリート中の粗骨材の接触による影響と考えられる。それらを除けば、床部材および供試体の貫入抵抗値の平均は、高性能 AE 減水剤を用いた調査の円盤押え時で0.4、0.5 N/mm²、羽根押え1回目で1.6、1.3 N/mm²であった。同様に、AE 減水剤を用いた調査の円盤押え時で、1.4、0.8 N/mm²、羽根押え1回目で2.0、2.4 N/mm²であった。なお、羽根押え1回目のNo.11に

おける供試体の測定値は 4.8N/mm²であった。他のデータに比べ大きい数値であったが、粗骨材を沈下させているため、粗骨材との接触はないものと判断し、有効なデータとして扱った。

各押え作業時のブリーディングの発生割合の関係を図-4に示す。高性能 AE 減水剤を用いた調査の円盤押え、羽根押え1回目は、それぞれ76.0、95.5%であった。同様に、AE 減水剤を用いた調査の円盤押え、羽根押え1回目で94.9、97.3%であった。床部材においては、上昇したブリーディング水が蒸発しやすいため、ブリーディングの発生、終了のタイミングが捉えにくい。押え開始のタイミングは、いわゆる“締め具合”を見極めながらとなるが、今回の調査の結果、仕上げ工程の段階である羽根押えの開始は、ブリーディングの発生が落ち着きつつあるタイミングもしくは終了したタイミングで実施されていたことが確認された。高性能 AE 減水剤の調査は、前述のようにブリーディングの発生やブリーディング量が少なく終了のタイミングが特に捉えにくいものの、結果的には、ブリーディングの終了前後のタイミングで押え作業が実施されていた。各床部材における1回目の羽根押え開始時のブリーディング発生割合と貫入抵抗値は、表-4に示す通りである。

3.2 コンクリート表面の仕上がり状態

コンクリート表面の仕上がり状態の結果を表-4に併せて示す。騎乗式ごてを使用した場合において、一部分

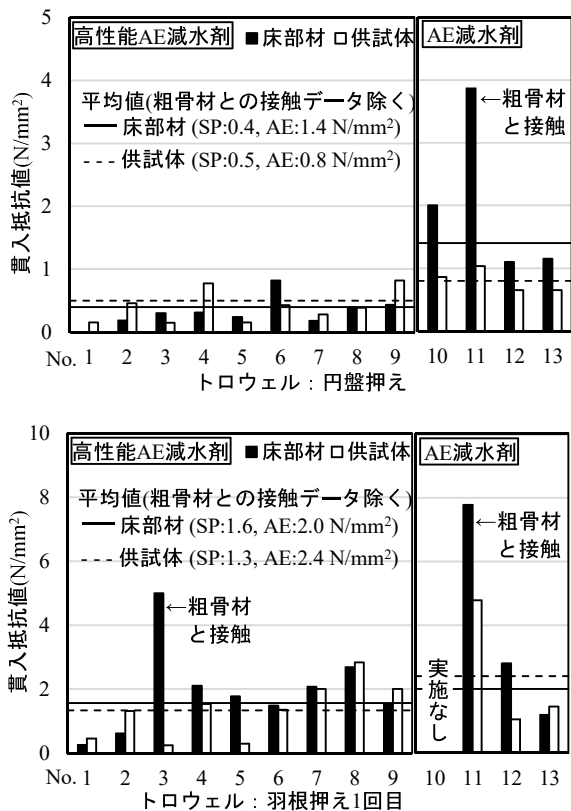


図-3 各押え作業時の貫入抵抗値

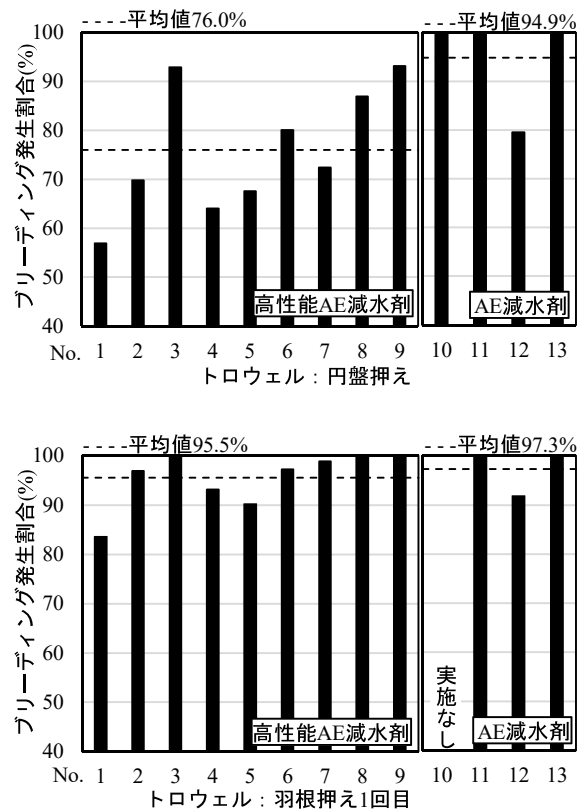


図-4 各押え作業時のブリーディングの発生割合

に表層剥離が生じた。コンクリート表面の“締まり具合”の判断から、騎乗式ごての仕上げ作業が開始されたが、その時の貫入抵抗の値が他の床部材と比較し、相対的にやや小さかった。これは、床部材に打込まれたコンクリートの極表層部分は乾燥状態にあったため、見かけ上、ブリーディングが終了したとみなされたが、内部のコンクリートでは、まだ終了していなかったと考えられる。そのような状態の床コンクリートに、騎乗式ごてを上載したため、その重量により表層が強く押えられ、ブリーディング水が表層下面に留まり、表層剥離が生じたと考えられる。

その他の場合においては、一部分にひび割れが生じたものもあったが、表層剥離が生じることはなかった。

4. 施工管理方法の検討

4.1 押え作業とコンクリート状態の関連性

調査の結果、ブリーディングの終了前後のタイミングで、仕上げ工程の段階となる羽根押え作業が実施され、騎乗式ごての使用を除き、表層剥離は確認されなかった。したがって、羽根押え作業の開始は、ブリーディングが終了もしくは、ある程度、落ち着いたタイミングが適切と判断される。既往文献においても、表層剥離の原因の一つとして、ブリーディングの影響が報告されており⁴⁾、今回の調査はそれを裏付ける結果となった。

4.2 施工管理方法の検討

実際のスラブ部材に打込まれたコンクリートにおいて、ブリーディングの終了を判断することは、前述のように、ブリーディング水が蒸発してしまうため見極めが難しい。終了の見極めについては、JIS A 1123 による測定で確認できるものの、測定にあたっては時間的拘束を受け、また労力を要するため、現場管理には不向きである。現場管理としては、プロクター貫入試験の方が簡便である。

ブリーディングの発生割合と床部材の貫入抵抗値の関係を図-5に示す。円盤押えから羽根押えの時間経過とともにブリーディングの発生割合が増加しつつ、貫入抵抗値が上昇する傾向にある。羽根押え時のデータを見ると、羽根押え作業は、1データを除き、ブリーディングの発生割合が90%以上で実施されていた。前述のように、そのタイミングによる羽根押え作業の結果、仕上がり状態として、表層剥離は確認されなかった。

一方、ブリーディングの発生割合90%以上の貫入抵抗値に着目すると、貫入抵抗値のデータは広範囲に分布しているものの、貫入抵抗値が1.5N/mm²以上であればブリーディングの発生割合は90%以上であることが確認できる。したがって、貫入抵抗値が1.5N/mm²に達すれば、ブリーディングの発生割合が90%以上であると判断し、羽根押え作業を開始する施工管理により、表層剥離が生じにくい床部材が得られるものと考えられる。しかしな

表-4 各床部材の羽根押え時のブリーディング発生割合と貫入抵抗値および表面の仕上がり状態

No.	羽根押え時のブリーディング発生割合(%)	羽根押え時の貫入抵抗値(N/mm ²)		押え方法	剥離の有無
		床部材	供試体		
1	83.6	0.3	0.5	トロウエル	無
2	96.9	0.6	1.3	トロウエル	無
3	100.0	(5.0)*	0.3	トロウエル→モスキート	無
4	93.1	2.1	1.5	トロウエル→モスキート	無
5	90.2	1.8	0.3	トロウエル→モスキート	無
6	97.2	1.5	1.3	トロウエル	無
6'	—	0.5	1.0	トロウエル→騎乗式	無
7	98.9	2.1	2.0	トロウエル	無
7'	—	0.3	0.5	トロウエル→騎乗式	有
8	100.0	2.7	2.8	トロウエル	無
9	100.0	1.5	2.0	トロウエル	無
10	(途中降雨のため未完了)				
11	100.0	(7.8)*	4.8	トロウエル	無
12	91.8	2.8	1.1	トロウエル	無
13	100.0	1.2	1.5	トロウエル	無

*粗骨材に接触

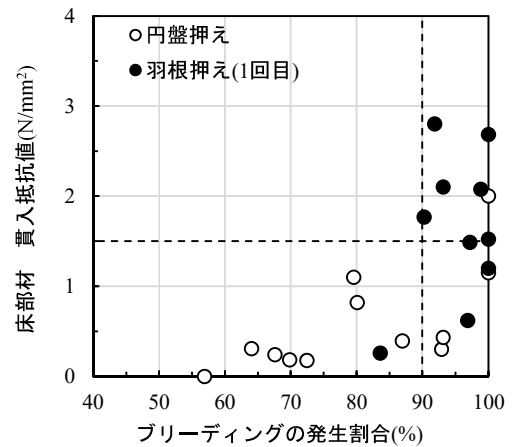


図-5 ブリーディングの発生割合と床部材の貫入抵抗値の関係

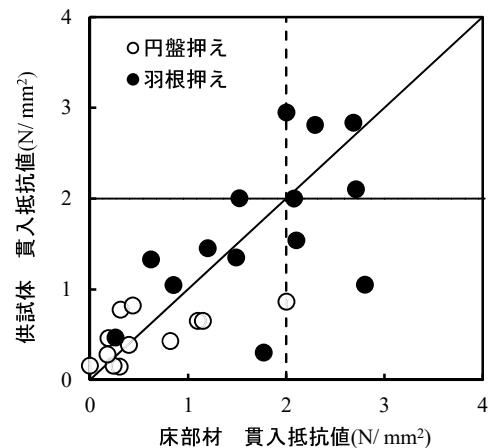


図-6 床部材と供試体の貫入抵抗値の関係

がら、貫入抵抗値とブリーディング発生割合の関係を示すデータ数は十分とはいえず、また測定データのばらつきも考慮し、実施工時の管理値としては 2.0 N/mm² を採用することとした。すなわち、実施工における直床仕上げの施工管理方法として、床部材における貫入試験の抵抗値が 2.0N/mm² に達したときを、羽根押え作業の開始時とする方法を提案した。

床部材と供試体の貫入抵抗値の関係を図-6に示す。床部材と供試体の貫入抵抗値のデータは、グラフ上の一対一のラインを中心に分布するものが多いものの、床部材の値よりも小さい供試体のデータが散見される。ただし、2.0N/mm² を管理値とした場合、供試体で 2.0N/mm² 以上の値が得られていれば、床部材においてもおおよそ 2.0N/mm² に達している。このことから、供試体を用いた場合でも、2.0N/mm² を管理値とすることで羽根押え作業開始の目安が得られると考えられる。すなわち、床部材で直接、貫入試験が実施できない場合は、打込み箇所と同一のコンクリートで製作した供試体を用いる方法が有効な管理方法になると考えられる。ただし、貫入試験では、貫入針が粗骨材と接触し、貫入抵抗値が大きい値となる場合がある。そのため、試験回数を増やす、もしくは、剣山治具を使用し表層部分の粗骨材を事前に押し込むなどの対応が必要である。

なお、騎乗式ごてを使用する場合においても、貫入抵抗値 2.0N/mm² 以上が目安と考えられるものの、今回の調査範囲では、表層剥離を防止する管理方法を確立するまでの十分な施工データを得ることができなかった。

5. まとめ

今回、直床仕上げによる表層剥離の発生を抑制するため、押え作業工程の調査、およびブリーディングやコンクリート表層の貫入抵抗値を測定し、直床仕上げの施工管理手法について検討を行った。その結果から得られた知見を以下に示す。

- i. 今回の調査範囲において、羽根押え作業の開始のタイミングは、ブリーディングの発生割合が 90% 以上となった時点に対応していたことが確認され、そのタイミングで羽根押え作業が実施された場合、表層剥離は生じなかった
- ii. プロクター貫入試験による貫入抵抗値が 1.5N/mm² 以上の場合でブリーディングの発生割合が 90%以上であった
- iii. 実施工における直床仕上げの施工管理方法として、測定データのばらつきを考慮し、床部材における貫入試験の抵抗値が 2.0N/mm² に達したときを、羽根押え作業の開始時とする方法を提案した
- iv. 打込み箇所と同一のコンクリートで製作した供試体を用いた場合でも、貫入試験により羽根押え作

業の開始時期が判断でき、床部材で直接、貫入試験が実施できない場合は、本方法で直床仕上げの施工管理が可能である

6. あとがき

今回の調査結果からブリーディングと押えのタイミングの関係が重要であることを再認識し、適切な押えのタイミングの目安となる貫入抵抗値などの貴重な技術資料が得られた。調査結果に基づき、羽根押え作業時の貫入抵抗値を 2.0N/mm² とした管理方法を、数件の直床仕上げの施工現場に採用している。

今後は、「直床仕上げの施工管理」の施工手順の標準化を図るべく、技術資料の収集を継続し、技術の確立に努める予定である。

【参考文献】

- 1) 三上貴正、常深安朗、坂井映二、「床コンクリートの表面強度に及ぼすこて仕上げ方法の影響」、日本建築学会構造系論文集、第 531 号、pp.15-20、2000.5
- 2) 三上貴正、早野博幸、小野英哲、「機械ごてによるコンクリート直床仕上げ床の施工条件判定のためのコンクリート性状の測定方法に関する研究」日本建築学会構造系論文集、第 465 号、pp.11-18、1994.11
- 3) 三上貴正、荒川琢也、小野英哲、「コンクリート直床仕上げ床の仕上がりに及ぼす機械ごての仕様およびコンクリート性状の影響の考察」日本建築学会構造系論文集、第 453 号、pp.27-37、1993.11
- 4) 葛城浩三、「コンクリート床版の表面はく離」、セメント・コンクリート、No.237、pp23-27、1966.11
- 5) 五十嵐賢次など、「コンクリートスラブの表面剥離に関する実験」、コンクリート工学年次論文集、Vol.39、No.1、pp.1429-1434、2017
- 6) 日本建築学会、「高性能 AE 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説」、1999.2