

コンクリート直床仕上げの施工管理手法に関する 実験的検討

－ 押え作業がコンクリートの表層品質に及ぼす影響－

Study of Construction Management Methods for Direct Floor Finish on Concrete Slabs

- Effects of floor finishing Works on concrete surface quality -

伊藤 淳* 河野政典** 赤星博仁* 門井大祐***

要 旨

直床仕上げの施工管理手法について検討するため、報告¹⁾ではコンクリート表層の硬化状態と押え作業の関連性について分析し、貫入試験の抵抗値が2.0N/mm²に達した時点を機械式ごてによる押え作業の開始とする施工管理手法を提案した。本報は、コンクリートの品質向上を実現する施工方法を確立するため、押え作業がコンクリート表層の品質に及ぼす影響について試験施工を実施した。

その結果、機械式ごてを使用することでコンクリート表層の硬さ値が大きくなる傾向を確認するとともに、機械式ごてを使用した押え作業の回数を増加させることで、透気係数が $0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下となり、良好な床部材に仕上がることを確認した。

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、硬さ試験、透気試験

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、大型物流施設が多数建設されている。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、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美観性を求められる場合もある。

コンクリートの直床仕上げ施工の手順一例と押え作業に用いる機器を図-1に示す。直床仕上げの押え作業は、機械式ごてトロウエルに円盤を取付けた「円盤押え」を実施し、次にトロウエルの円盤を外し、こてによる「羽根押え」を複数回実施する。また、求められる床の仕上がりに対し、人力によるフレスノ仕上げ、別の機械式ごてモスキートの「羽根押え」による最終仕上げを実施する。機械式ごての導入により、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²⁾⁴⁾。また、コンクリート表面の美観性として、鏡面仕上げのような光沢が求められる場合は、金ごてによる押え磨き回数を多くする。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⁵⁾⁶⁾。

これまで、直床仕上げによる表層剥離の発生を防止するため、作業員が打込み後のフレッシュコンクリートの状態（いわゆる締め具合）を経験的に見極めながら仕



図-1 コンクリートの直床仕上げ施工の手順一例と押え作業に用いる機器

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

上げ作業を進めていた。一方、筆者らは、仕上げ作業のタイミングが剥離現象に影響を及ぼすと考え、ブリーディングやコンクリート表層の硬化状態と押え作業の関連性について分析し、直床仕上げの施工管理手法¹⁾を検討してきた。

本報では、コンクリートの品質向上を実現する施工方法を確立するため、既報¹⁾の管理手法に沿い、押え作業がコンクリートの表層品質に及ぼす影響について、試験施工の検証結果を報告する。

2. 押え作業の調査およびフレッシュ性状の調査

2.1 調査対象

コンクリートの基本仕様と試験条件を表-1に、コンクリートの調合を表-2に示す。調査は7現場の生コン21工場についてコンクリートのフレッシュ性状の試験を実施した。呼び強度は30、36であり、セメントは全て普通ポルトランドセメントである。なお、今回の調査は、現場打設された床部材のコンクリートを対象とし、床部材の厚さは180~200mmである。

2.2 試験項目および方法

フレッシュ性状の試験項目および方法を表-3に示す。ブリーディング試験は、JCI-S-015-2018を参考に、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分経過するまで10分ごとに表面に浸み出した水を採取し、その後、ブリーディングが認められなくなるまで、30分ごとに水を採取した。また、コンクリート試料の高さは、表-1に示す床部材の厚さと同一とした。

JIS A 1147のコンクリートの凝結時間試験方法に規定される貫入試験は、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。ここでは、既報¹⁾と同様に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、貫入針の針頭と粗骨材との接触防止のため、針頭の貫入深さを5mmとした。貫入試験は、押え作業の開始前に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-1に示す。供試体では測定面積に限られるため、試料を容器に採取した後、コンクリート表層の粗骨材を剣山で押して強制的に沈下させ、安定的な測定値が得られるように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、(1)式により算出した。

$$\frac{\text{貫入に要した力(N)}}{\text{貫入針の断面積(mm}^2\text{)}} = \text{貫入抵抗値(N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

表-1 コンクリートの基本仕様と試験条件

No.	呼び強度	スランブ(cm)	床部材の厚さ(mm)	外気温(°C)
1	30	18	180	20
2	30	18	200	19
3	30	18	200	27
4~7	30	15	200	20
8~14	36	15	180	28
15~19	36	15	200	28
20,21	36	15	200	24

表-2 コンクリートの調合

No.	W/B (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)				Ad (kg/m ³)	
			W	B		S		G
				C	混和材			
1	47.0	45.9	175	372	-	788	936	3.34 ^{*3}
2	47.1	43.1	174	369	-	741	998	3.69 ^{*3}
3	47.0	46.1	165	352	-	823	988	3.34 ^{*3}
4	49.0	45.9	168	323	20 ^{*1}	793	954	3.43 ^{*3}
5	49.0	46.0	168	323	20 ^{*1}	796	960	3.43 ^{*3}
6	49.0	44.9	171	329	20 ^{*1}	805	991	3.49 ^{*3}
7	49.0	45.4	169	325	20 ^{*1}	783	971	3.45 ^{*3}
8	43.7	45.9	168	385	-	796	976	3.66 ^{*3}
9	44.0	44.9	163	371	-	794	1001	3.67 ^{*3}
10	42.7	45.5	165	386	-	799	983	4.25 ^{*3}
11	44.0	43.8	164	373	-	779	1021	4.10 ^{*3}
12	43.0	44.3	168	391	-	775	997	4.11 ^{*3}
13	44.3	44.6	165	373	-	786	1004	4.10 ^{*3}
14	43.3	45.6	166	384	-	791	973	3.45 ^{*3}
15	44.2	45.8	165	373	-	809	983	3.73 ^{*3}
16	45.3	44.8	165	364	-	791	1004	3.65 ^{*3}
17	45.5	44.1	164	360	-	786	1021	3.61 ^{*3}
18	45.0	45.3	168	373	-	799	988	3.55 ^{*3}
19	45.2	46.2	168	372	-	806	979	3.16 ^{*3}
20	52.5	45.2	171	326	-	805	1053	3.26 ^{*4}
21	46.4	47.0	175	337	40 ^{*2}	861	1031	3.37 ^{*4}

水結合材比(W/B)、細骨材率(s/a)、結合材(B)、セメント(C)、細骨材(S)、粗骨材(G)、化学混和剤(Ad)

*1: 膨張材、*2: フライアッシュ、*3: 高性能 AE 減水剤、*4: AE 減水剤

表-3 フレッシュ性状の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	<ul style="list-style-type: none"> JCI-S-015-2018を参考に、φ150のブリキ管を使用し、試料の高さ(厚さ)は床部材の厚さに合わせた ブリーディング採取時を除き、蓋をして静置した
貫入試験	<ul style="list-style-type: none"> JIS A 1147に規定されるプロクター貫入試験器を用いて、針頭5mmを5秒間で貫入させる 測定は塩ビ管(φ200×300mm)を使用した供試体と床部材で、貫入試験は押え作業の開始前に実施した

2.3 作業工程とフレッシュ性状の関係

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、床部材と供試体の貫入抵抗値の関係を、既報⁹⁾のデータも合わせて図-3に示す。

コンクリート表層の不具合^{5, 6)}はブリーディングが大きく影響していると考えられている。既報⁹⁾の報告では、ブリーディングが終了した後、押え作業を実施することでコンクリート表層の不具合が生じないことを確認した。

ブリーディングの終了のタイミングとしては、貫入抵抗値が1.5 N/mm²に達すれば、ブリーディングは図-2より、ほぼ終了していることを確認できた。

床部材と供試体の貫入抵抗値は、図-3より、±20%程度のばらつきがあるものの、グラフ上の一対一のラインを中心に分布した。実施工時の管理値は貫入抵抗値のばらつきを考慮し、貫入抵抗値を2.0 N/mm²とすることで押え作業を安全側の管理値とすることができる。床部材で、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。

3. コンクリート表層の品質に関する調査

3.1 調査対象

コンクリートの調査は表-2の No.1、No.2、No.3、No.8の4調査とし、呼び強度30、36を使用した。

コンクリートの基本仕様と押え作業方法の施工手順を表-4に示し、押え作業の施工手順の一例を写真-2に示す。

押え作業の前工程では、機械式ごてのトロウエルを使用し、押え方法A-3、A-4、D-2は最終仕上げにモスキートを、押え方法C-1はフレスノを使用した。また、押え方法A-1の押え作業は、前工程および最終仕上げ職人による金ごてによる手作業とした。

押え方法については、作業員の経験を参考に、使用する機械および押え回数を選定した。機械式ごてを使用した4回目以上の押え作業は、トロウエルではコンクリート表層を傷つけてしまう可能性があることからモスキートを使用した。また、鏡面仕様は、床部材の仕上がりに光沢を求められる場合に実施する押え作業を参考に、押え方法A-3、A-4、D-2の施工手順を選択し、その他の機械式ごてを使用した押え方法は一般仕様とした。なお、押え方法A-1は物流倉庫の床の仕上げで実施しないことから仕様なしとした。

押え作業は、直床仕上げの管理方法⁹⁾に沿い、貫入抵抗値が2.0 N/mm²以上となったことを確認した後、羽根押え作業を実施した。

3.2 試験項目および方法

表層品質の試験項目および方法を表-5に示す。コンクリート表層品質は材齢4週に実施し、硬さ試験の硬さ



塩ビ管容器 表層の粗骨材を洗下させる剣山

写真-1 供試体測定用の試験器具

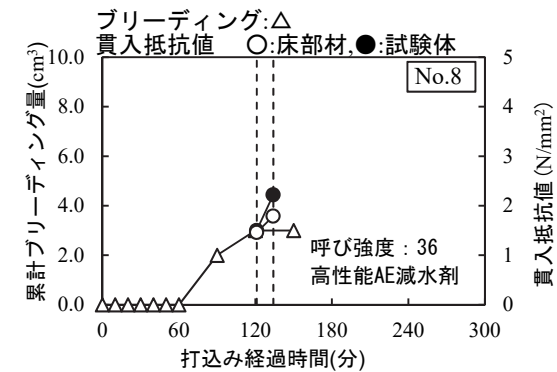
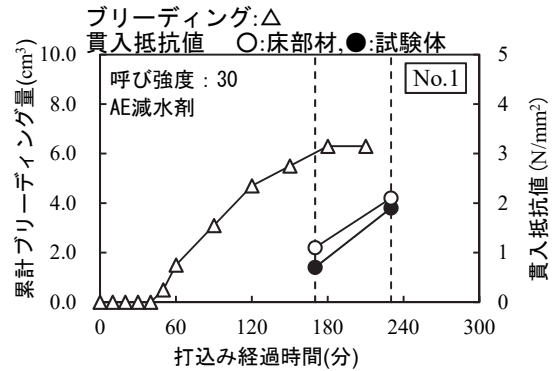


図-2 ブリーディング量、および貫入抵抗値の時間変化の一例

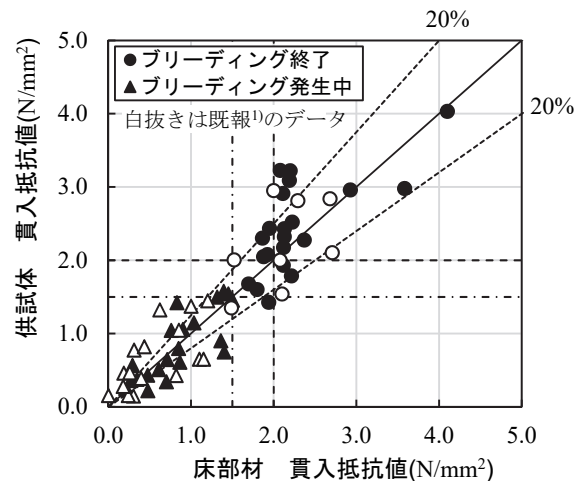


図-3 床部材と供試体の貫入抵抗値の関係

値および Torrent 法に準拠した透気試験より得られた透気係数で評価した。なお、透気試験の測定前に、電気抵抗式の水分計によって含水率を測定した。

硬さ試験は、金属材料やセラミックなどで JIS 規格化されている硬度を測定する試験であり、試験法として押し込み試験法と動的試験法がある。ロックウェル硬さやビッカース硬さに代表される押し込み試験法では、試験片に圧子押し付け、圧痕の深さや面積から硬さを求める。一方、動的試験法のショア硬さ試験では、ハンマーなどを試験面に衝突させ、その時の反発力や角度から硬さを求める。

本調査では、既存の床部材を傷つけない方法である動的試験法のエコーチップ試験を採用し、試験方法は非破壊試験⁷や圧縮強度推定試験方法⁸を参考にした。エコーチップ試験の硬さ値は、衝突させた時の反発速度と打撃速度から求められる硬さ値(HL)とした。

硬さ試験および透気試験の試験面の寸法と測定位置を図-4に示す。表層品質の試験は100×100mmを1面とし、硬さ値の計測を20mm間隔で25点測定した。透気試験は中心位置で2回測定した。

硬さ試験および透気試験の試験回数を表-6に示す。試験面数は、押え方法 A-1、A-2、A-3、A-4 は3面、5面、6面、8面、B-1 および C-1 は各15面、D-1、D-2 は9面、11面とした。各試験の測定数は、押え方法 A-1 を例にとると、試験面を3面実施したため、硬さ試験は1面あたり25点測定の合計75点、透気試験は1面あたり2回測定の合計6回測定した。

3.3 コンクリート表層の硬さ値

床部材の硬さ値の度数分布の一例を図-5に、床部材の硬さ値および透気係数の標準偏差と変動係数を表-7に示す。

図-5には100×100mmの1面に対し、硬さ試験を25点測定した際の硬さ値の度数分布の一例を示した。

エコーチップ試験器による硬さ値の階級は10ごととし、下一桁が0から9までを同一の階級として示した。硬さ値は平均の±20%の範囲を外れる値⁷⁾については除外し、平均値、標準偏差、変動係数を求めた。

表-7の硬さ値および透気係数については、硬さ試験および透気試験の測定したデータを基に標準偏差と変動係数を求めた。

職人による金ごて押え作業 A-1 の硬さ値は平均値356HLであり、機械式ごてを使用したすべての押え方法より小さい値となった。また、押え方法 A-1 の硬さ値の変動係数は11.6%であり、機械式ごてを使用した押え方法よりばらつきが大きく、硬さ値の除外数は機械式ごてを使用する押え方法より多かった。

鏡面仕様の呼び強度30の押え方法 A-3 および呼び強度36の押え方法 D-2 は押え回数の増加に伴い、一般仕様の押え方法 A-2 の硬さ値に比べて押え方法 A-3 は

表-4 コンクリートの仕様と押え作業の施工手順

No.	呼び強度	押え方法	仕上げの仕様 ^{*)}	押え作業の施工手順		押え回数
				前工程	最終仕上げ	
1	30	A-1	-	金ごて①+②	→③金ごて	3回
		A-2	一般	羽根①+②	→③トロウエル	3回
		A-3	鏡面	羽根①+②+③	→④モスキート	4回
		A-4	鏡面	羽根①+②+③	→④+⑤モスキート	5回
2	30	B-1	一般	羽根①+②	→③トロウエル	3回
3	30	C-1	一般	羽根①+②	→③フレスノ	3回
8	36	D-1	一般	羽根①+②	→③トロウエル	3回
		D-2	鏡面	羽根①+②+③	→④+⑤モスキート	5回

*1: No.はコンクリートの調合(表-1)
 *2: 仕上げの仕様は光沢が求められる場合に実施される押え方法を「鏡面」、その他の機械式ごてを使用した押え方法を「一般」とし、職人の金ごてによる手押え方法は「-」とした

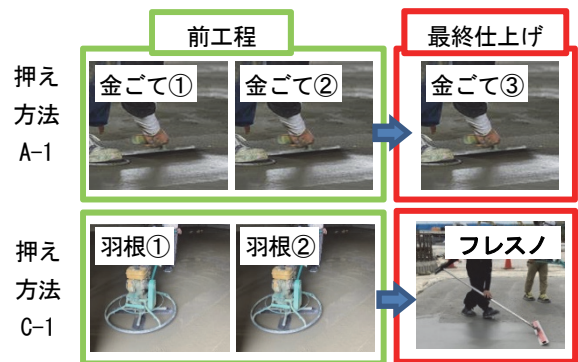


写真-2 押え作業の施工手順の一例

表-5 表層品質の試験項目および方法

試験項目	試験方法
硬さ試験(硬さ値)	エコーチップ試験: 測定位置は100×100mmを1面とし、測定点を縦5点×横5点の計25点測定した。
透気試験(透気係数)	Torrent法に準拠した透気試験機を用い、測定は100×100mmの中心を2回実施した。また、測定前に含水率を電気抵抗式の水分計によって測定した。

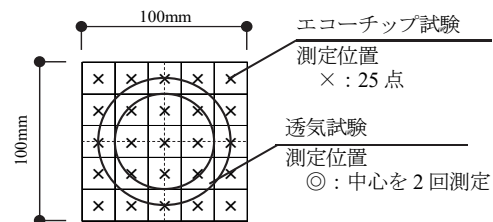


図-4 硬さ試験および透気試験の試験面の寸法と測定位置

表-6 硬さ試験および透気試験の試験回数

押え方法	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	C-1	D-1	D-2
試験面数	3	5	6	8	15	15	9	11
硬さ試験の測定数	75点	125点	150点	200点	375点	375点	225点	275点
透気試験測定数	6回	10回	12回	16回	30回	30回	18回	22回

□硬さ値(平均値):365HL 標準偏差:37.6、変動係数:10.3% □硬さ値(平均値):405HL 標準偏差:26.7 変動係数:6.6% □硬さ値(平均値):464HL 標準偏差:24.8 変動係数:5.4% □硬さ値(平均値):453HL 標準偏差:33.1 変動係数:7.3% □透気係数 $1.18(\times 10^{-16}m^2)$ □透気係数 $0.84(\times 10^{-16}m^2)$ □透気係数 $0.18(\times 10^{-16}m^2)$ □透気係数 $0.05(\times 10^{-16}m^2)$

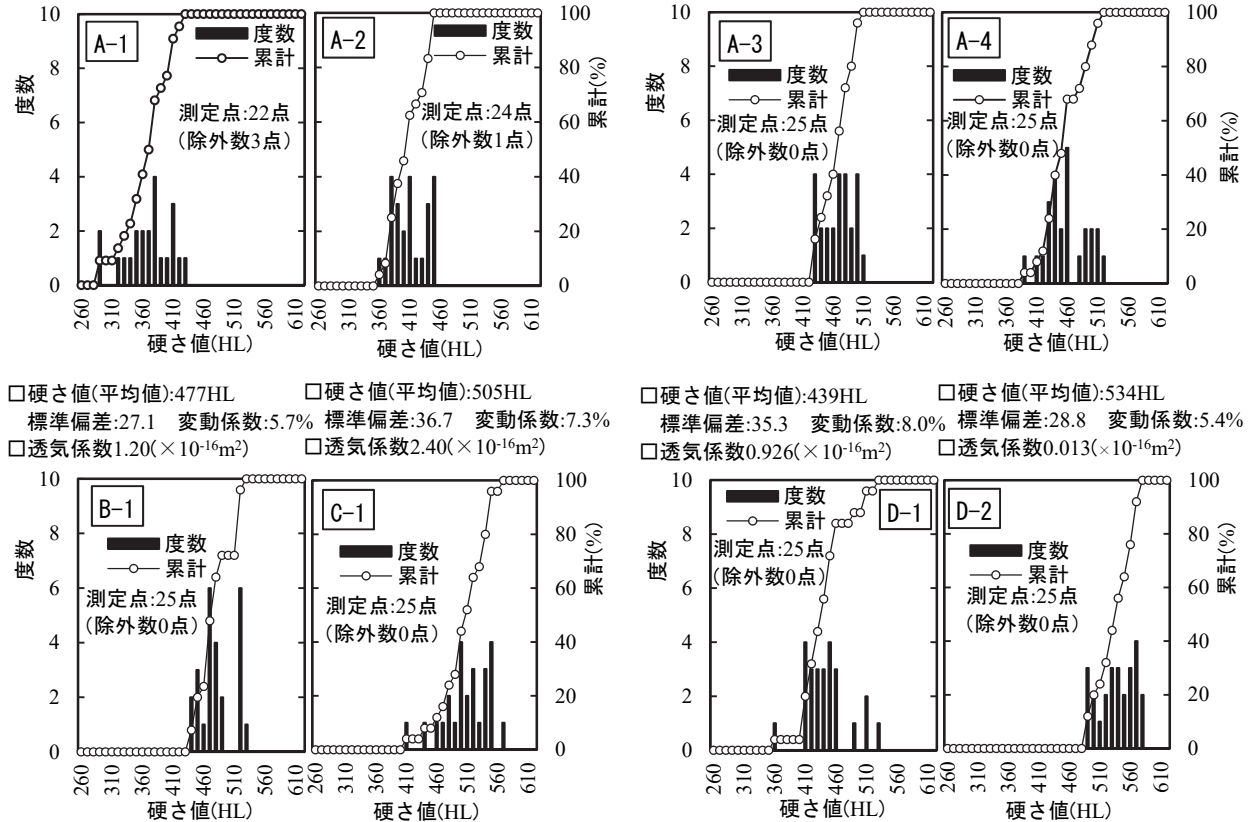


図-5 床部材の硬さ値の度数分布の一例

表-7 硬さ値および透気係数の標準偏差と変動係数

押え方法	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	C-1	D-1	D-2	
床の仕上げ仕様	-	一般	鏡面	鏡面	一般	一般	一般	鏡面	
試験面数*	3	5	6	8	15	15	9	11	
硬さ値 (HL)	測定数	75	125	150	200	375	375	225	275
	除外数	10	9	2	1	0	2	2	1
	平均値	356	405	464	461	477	506	437	530
	標準偏差	41.3	28.0	29.7	42.0	28.0	29.9	28.8	33.3
	変動係数	11.6	6.9	6.4	9.1	5.9	5.9	6.6	6.3
透気係数 ($\times 10^{-16}m^2$)	測定数	6	10	12	16	30	30	18	22
	平均値	1.24	0.76	0.25	0.04	2.12	2.15	0.70	0.008
	標準偏差	0.04	0.31	0.20	0.02	1.78	0.49	0.26	0.005

* 試験面数は□ $100\times 100mm$ を1面とした面数(図-4)
(1面あたり硬さ試験を25点、透気試験を2点測定)

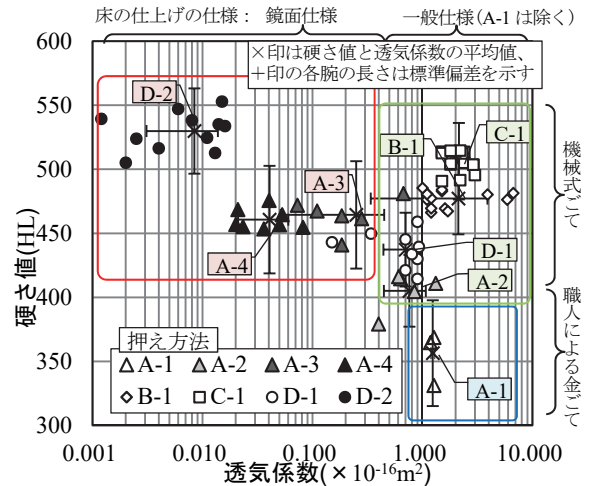


図-6 床部材の透気係数と硬さ値の関係

60HL程度、押え方法D-1の硬さ値に比べて押え方法D-2は100HL程度、それぞれ大きくなった。これらの結果から、床の仕上げを一般仕様から鏡面仕様にする事でコンクリート表層の硬さ値が増加することを確認した。

鏡面仕様の押え回数が4回、5回の押え方法A-3、A-4では、押え回数に増加の伴う硬さ値に大きな差は見られなかった。

3.4 透気試験

床部材の透気係数と硬さ値の関係を図-6に示す。各押え方法の試験データは、1面に実施した硬さ試験と透気試験の平均値を示した。また、図中の×印は表-7の各押え方法の硬さ値と透気係数の平均値を、+印の各腕の長さは標準偏差を示す。

鏡面仕様とする押え方法A-3、A-4、D-2の透気係

数は $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ を下回る結果となり、一般仕様の押え方法より良好な床部材であることを確認した。また、鏡面仕様の A-3、A-4 では、押え回数を 4 回から 5 回にすることで透気係数が小さくなり、耐久性低下の原因となる有害物質の侵入に対するコンクリートの密実性が高い評価となった。このことから、押え回数の増加によってコンクリート表層の品質が向上することを確認できた。

押え回数を 3 回とした一般仕様および職人による金ごて押え方法 A-1 の透気係数は $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 付近であり、機械式ごての使用回数が少ない場合には、透気係数の向上は確認できなかった。

4. まとめ

今回、既報りの管理方法に沿い、押え作業がコンクリート表層の品質に及ぼす影響について試験施工を実施した。その結果から得られた知見を以下に示す。

- i. 貫入抵抗値が 2.0 N/mm^2 以上であれば、ブリーディングが終了しており、貫入試験による施工管理が可能なることを再検証できた
- ii. 打込み箇所と同一のコンクリートで製作した供試体による貫入試験で直床仕上げの施工管理が可能である
- iii. 機械式ごてを使用することで硬さ値が大きくなる傾向を確認できた
- iv. 床の仕上がりを一般仕様から鏡面仕様の押え方法にすることで、硬さ値は大きくなる傾向を確認できた
- v. 鏡面仕様の押え作業の透気係数は $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下となり、良好な床部材であることを確認できた

5. あとがき

直床仕上げの押え方法に機械式ごてを使用することでコンクリート表層の硬さ値が増加する傾向を確認できた。また、鏡面仕様にすることで高品質な床が提供可能であることを確認した。

今回の調査から得た硬さ値と透気係数の関係を示すデータ数は十分とはいえないが、コンクリートの品質向上を実現する施工方法を確立する見通しは得られた。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) 伊藤 淳、河野政典、赤星博仁、門井大祐、「直床仕上げの施工管理手法に関する実験的検討」、奥村組技術研究年報、pp.85-90、2019.9
- 2) 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ご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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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、pp.23-27、1966.11
- 6) 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
- 7) 日本建築学会、「コンクリート強度推定のための非破壊試験方法のマニュアル」、丸善、pp.10-28、1983.2
- 8) 野中 英、湯浅 昇、三谷和裕、金森誠治、「エコーチップを用いたコンクリートの圧縮強度推定試験方法の提案」、日本建築学会技術報告集、第 23 巻、第 54 号、pp.397-402、2017.6