

コンクリートスラブの押さえ作業における

開始時間の判定法に関する検討

山田 修大* 鶴見 淳也*
足立 啓輔**

要 旨

物流倉庫におけるコンクリートスラブの押さえ作業は、1日の施工数量が 1,000m² 程度の面積を対象とすることが多く、金ごてを用いた手作業ではなくトロウエル等の機械金ごてを使用することが一般的である。押さえ作業を開始するタイミングについては、JASS 15 などの仕様書において定量的な指標が示されておらず、作業員の経験により判断されているのが現状である。しかし、今後作業員が不足することに加え、働き方改革による生産性向上の一環として施工の自動化への移行が予想されることから、押さえ作業を開始するタイミングを判断できる定量的な指標が求められる可能性は高くなると考える。そこで本検討では、定量的な指標としてデュロメータによる測定値を採用し、指標としての適用可能性を確認すること、および指標値を設定することを目的として、室内実験と現場測定を行った。本報では、その結果について報告する。

1. はじめに

近年、インターネット通販市場の急成長や物流の効率化にともない、倉庫建設の需要が増加している。また同時に物流倉庫の発注者からの要求品質も高まりつつあり、施工者はコンクリートスラブの品質管理を厳格化している。また、物流倉庫ではフォークリフトなどの車両が繰り返し走行するため、高い耐久性をもつコンクリートスラブが求められる。したがって、施工者は常に高品質のコンクリートスラブを安定して施工する必要がある。

高い耐久性を必要とする物流倉庫のコンクリートスラブの仕上げは、メンテナンス等の観点から塗床材などの仕上げ材とすることは難しく、コンクリート直ならし仕上げのうえ、表面強化剤の塗布が一般的である。また、物流倉庫のような大規模な建物の場合、1日の施工数量が 1,000m² 程度のスラブを施工することが多い。そのため、物流倉庫のコンクリートスラブの押さえ作業においては、手作業による金ごて押さえではなく、トロウエル等の機械金ごてが主に使用される。物流倉庫のコンクリートスラブの仕上げにおける一般的な施工手順を表-1に示す。コンクリートスラブの施工時には、打ち込んだコンクリートの状況に応じて、スラブ面の仕上げ作業を行う作業員(以下、土間工とする)が適切なタイミングで、表-1に示す⑤～⑦の作業(以下、各押さえ作業とする)を開始する必要があるが、JASS 15¹⁾等の仕様書にはそのタイミングについて明確な表記がされていない。そのため、コンクリートスラブの施工は土間工の経験による感覚を頼りに行われており、品質が土間工の技量によって左右されているのが現状である。

既往の研究^{例として2),3)}では貫入抵抗試験(JIS A 1147)による貫入抵抗値(以下、貫入抵抗値とする)から、コンクリートスラブの押

さえ作業の開始時間を判定する手法が提案されている。また、文献4)では、ゴム製品等の硬度測定に用いられる「デュロメータ(写真-1)」を採用し、押さへのタイミングの評価を試みている。デュロメータとは、試験機底部の押針を試料の表面に押し付けたときの試料への押込み量から硬度を測定する機械で、対象物の硬度が大きいほど値が大きくなる。デュロメータは安価で軽量であるうえ、躯体面への損傷が極めて小さく、原位置で測定が可能であるという利点を有する。

なお、文献4)では貫入抵抗値とデュロメータの測定値(以下、デュロメータ値とする)には相関があることが示されており、デュロメータ値によりコンクリートの凝結状態を把握できることがわかっている。

ここでは、押さえ作業を開始するタイミングが評価できる定量的な指標値(以下、指標値とする)としてデュロメータ値の適用可能性を確認すること、およびデュロメータ値による指標値の設定

表-1 一般的なコンクリートスラブの仕上げ手順

手順	作業内容
①	コンクリート打込み 締固め(バイブレータ)
②	荒ならし(トンボ)
③	レベル出し(オートレベル)
④	タンピング(タンバ)
⑤	アマ出し(トロウエル(円盤))
⑥	中間押さえ(トロウエル(金ごて))
⑦	最終押さえ(トロウエル(金ごて))

* 技術研究所 建築技術開発部

** 建築設計部

を目的として、室内実験と現場測定を行った。本報では、その結果について報告する。

2. デュロメータ機種の選定実験

2.1 実験の目的

デュロメータの機種の一覧を表-2に示す。デュロメータは試料の硬度に応じて様々な機種が製作されており、機種ごとに測定可能な硬度の範囲が異なる。また、デュロメータ値は単位のない相対的な物理量であり、機種間の値の比較が難しいため、測定対象の硬度に応じた機種を選定する必要がある。

そこで今回の選定実験では、各押さえ作業を開始するタイミングの評価に適切なデュロメータの機種を選定することを目的として、室内実験を行った。また、既往の研究⁴⁾において、コンクリートの貫入抵抗値とデュロメータ値の相関関係が示されていることから、本検討においても同様に、貫入抵抗値と各機種のデュロメータ値との関係性についても確認した。

2.2 実験概要

2.2.1 デュロメータの機種選定

デュロメータの機種選定については、既往の研究⁴⁾で使用したデュロメータと製造元は異なるが、同等の性能と想定される表-2中のE型と、E型より低硬度域を測定可能なOO型、およびE型より高硬度域を測定可能なA型を候補とした。

本実験では、貫入抵抗値とデュロメータ値の相関関係を確認したうえで、コンクリート表層の硬度に対するデュロメータ値を確認し、各作業を開始するタイミングの評価に適切なデュロメータの機種を選定することとした。

2.2.2 コンクリートの材料と調査

実験で使用したコンクリートの材料を表-3に、調査を表-4に示す。本実験では、物流倉庫のスラブで使用される調査を想定し、2種類の調査を設定した。

2.2.3 測定項目および方法

本実験における測定項目および測定方法を表-5に示す。また、デュロメータ値の測定状況を写真-2に、押さえの実施状況を写真-3に示す。本実験ではスラブを模擬した試験体(300mm×300mm×150mm)を作製し、土間工による金ごて押さえを行った。各押さえ作業は土間工の判断で開始し、開始時点での注水からの経過時間を記録した。デュロメータ値の測定は貫入抵抗値と同時にを行い、凝結試験を実施した容器を用いて測定を行った。また、デュロメータ値の測定時には、デュロメータ内部へのコンクリートの侵入を防止するため、試験体の測定面にラップを置いて測定を行った。



写真-1 デュロメータ

表-2 各機種の測定対象物の例

機種 ¹⁾	準拠規格	測定対象物の例
FO型	—	ウレタンフォーム、食器洗い用スポンジ
OO型	ASTM D 2240	超軟質ゴム、チューイングガム
E2型	—	軟質ゴム、建築用シーラント、プロセスチーズ
E型	JIS K 6253	軟質ゴム、フィルムロール、消しゴム
O型	ASTM D 2240	軟質ゴム、発泡スチロール、ダンボール
A型	JIS K 6253	一般ゴム、タイヤ、ゴムホース
B型	ASTM D 2240	半硬質ゴム、木材
DO型	ASTM D 2240	半硬質ゴム、床材・建材
C型	ASTM D 2240	硬質ゴム、ゴルフボール
D型	JIS K 6253	硬質ゴム、プラスチック

*1:機種は測定対象の硬度が小さいものから順に記載

表-3 使用材料

材料	記号	詳細
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
水	W	上水道水
細骨材	S1	栃木県佐野市産 砕砂(石灰石) 表乾密度 2.66g/cm ³
	S2	千葉県市原市産 山砂 表乾密度 2.60g/cm ³
粗骨材	G	栃木県佐野市産 砕石(石灰石) 表乾密度 2.70g/cm ³
混和材	EX	膨張材 密度 3.16g/cm ³
化学混和剤	AE	AE 減水剤
	SP	高性能 AE 減水剤

表-4 コンクリートの調査

呼び名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							混和剤 (C×%)	
			W	C	EX	S1	S2	G	AE	SP	
27-15-20N (EX) ^{*1}	54.9	44.6	172	294	20	320	480	1024	0.9	1.35	
30-15-20N (EX) ^{*2}	51.5	46.6	165	301	20	337	505	994	1.0	1.1	

*1:呼び強度 27N/mm²、スランブ 15cm、粗骨材の最大寸法 20mm、膨張材内割調合

*2:呼び強度 30N/mm²、スランブ 15cm、粗骨材の最大寸法 20mm、膨張材内割調合

表-5 測定項目および方法

測定項目	試験方法	詳細
凝結時間	JISA 1147	—
デュロメータ値	—	凝結試験の容器を用いて測定 機種: OO、E、A 型
各作業時間	—	各押さえ作業開始時間

2.3 実験結果

2.3.1 凝結試験結果

試験体の凝結始発・終結時間を表－6に、経過時間と貫入抵抗値の関係を図－1に示す。また、最終押さえが完了するまでの経過時間と貫入抵抗値の関係を図－2に、土間工が各押さえ作業を開始したときの貫入抵抗値と経過時間を表－7および図－2中に示す。なお、各押さえ作業を開始した時点の貫入抵抗値は、凝結試験の近似曲線から算出した。

両調査とも、凝結の始発から終結までの時間は約 2 時間であった。また、各押さえ作業を開始した時点での貫入抵抗値は、アマ出しで 0.06 および 0.19N/mm²、中間押さえで 0.66 および 1.16 N/mm²、最終押さえで 3.27 および 5.80N/mm²であることを確認した。

2.3.2 デュロメータ値の測定結果および機種の選定

機種ごとのデュロメータ値と貫入抵抗値の関係を図－3に示す。いずれの機種においても、デュロメータ値と貫入抵抗値の R² 値は 0.9 以上と高い相関関係が認められ、コンクリートの凝結状態の評価にデュロメータを用いることが有効であることを確認した。

また、始発時間付近における機種ごとのデュロメータ値と貫入抵抗値の関係を図－4に、各押さえ作業開始時におけるデュロメータの機種ごとの推定デュロメータ値を表－8に示す。デュロメータ値と貫入抵抗値の関係については、全体的に指数関数的な相関がみられるものの、押さえ作業が行われる始発時間付近では線形的な相関が強くみられたため、表－8における推定デュロメータ値は、線形の近似式により算出した。なお、図－4および表－8では比較のため、27-15-20N の調査のみを示している。

表－8から、OO型を用いた場合、アマ出しおよび中間押さえ開始時点の推定デュロメータ値が測定可能範囲内であるものの、最終押さえ開始時点の推定デュロメータ値が 100 を超え、測定することができない。よって、OO 型は押さえ作業を開始するタイミングの評価に用いるデュロメータの機種として、不適であると考えられる。

また、A 型を用いた場合、アマ出しおよび中間押さえ開始時点の推定デュロメータ値が負の値となり、測定することができない。よって、A 型は押さえ作業を開始するタイミングの評価に用いるデュロメータの機種として、不適であると考えられる。

OO 型、A 型に対して、E 型を用いた場合、全ての押さえ作業開始時点における推定デュロメータ値が測定可能範囲内である。よって、E 型は押さえ作業を開始するタイミングの評価に用いるデュロメータの機種に適していると考えられる。

したがって本検討では、各押さえ作業を開始するタイミングの評価に最も適切なデュロメータの機種として、E 型を選定した。以降デュロメータ値とは、E 型のデュロメータを使用して測定した値を示す。



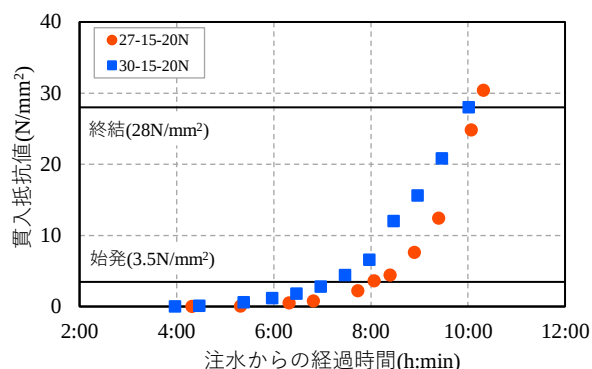
写真－2 デュロメータ値測定状況(凝結試験容器)



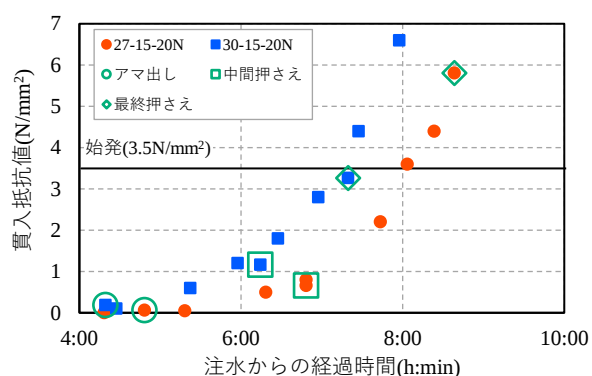
写真－3 押さえ実施状況(スラブ模擬試験体)

表－6 凝結始発・終結時間

調査	凝結時間(h:min)	
	始発時間	終結時間
27-15-20N	8:13	9:58
30-15-20N	7:24	9:35



図－1 経過時間と貫入抵抗値の関係



図－2 最終押さえまでの経過時間と貫入抵抗値の関係

表－7 押さえ作業開始時間と貫入抵抗値

呼び名	押さえ作業開始時間(h:min)/貫入抵抗値(N/mm ²)		
	アマ出し	中間押さえ	最終押さえ
27-15-20N	4:49/0.06	6:49/0.66	8:39/5.80
30-15-20N	4:20/0.19	6:15/1.16	7:20/3.27

*作業時間は注水後からの経過時間

*貫入抵抗値は凝結試験の近似曲線から算出

2. 4 実験結果まとめ

以上の実験より得られた結果を以下に示す。

- (1) デュロメータの機種によらず、貫入抵抗値とデュロメータ値には高い相関が認められ、コンクリートの凝結状態の評価にデュロメータ値を用いることができる。
- (2) E型のデュロメータを使用することで、各押さえ作業を開始するタイミングを評価することができる。

3. 指標値の設定

3. 1 指標値の設定方法について

本検討における指標値の設定には、土間工が各押さえ作業を開始した時点で測定したデュロメータ値を用いる。測定したデュロメータ値とコンクリートスラブ表層部の品質評価を関連付け、評価が良好であった現場のデュロメータ値を指標値として設定した。

3. 2 現場測定の概要

3. 2. 1 コンクリートスラブの表層部の品質の評価方法

スラブ表層部の品質評価には、透気試験を採用した。透気試験は、物流倉庫のコンクリートスラブに求められる耐摩耗性や中性化抵抗性の評価が可能で^{例えば 5), 6)}、非破壊かつ簡便な試験方法である。透気試験により得られる透気係数は、値が小さいほど表層が緻密で、硬化コンクリートの品質が良好であることを意味している。なお、透気試験の方法は、トレント法によるダブルチャンバー法を採用した。トレント法による透気係数の評価基準を表-9に示す。また、ここでは、表-9に示す「良」以上を◎、「一般」以下を○として評価した。

3. 2. 2 現場選定

本測定では、デュロメータ値が施工環境に左右されないことを検証するため、地域や打設時期、コンクリート調合が異なる現場を選定して現場測定を行った。測定を行った現場の一覧を表-10に示す。

3. 2. 3 測定項目および測定方法

現場での測定項目を表-11に示す。測定時の施工環境を把握するため、風速、外気温、相対湿度、コンクリート温度も併せて測定した。デュロメータ値の測定状況を写真-4に示す。デュロメータ値を測定するタイミングは、土間工が各押さえ作業を開始する直前とした。測定時にはデュロメータ内部へのコンクリートの侵入を防止するため、測定面にラップを置いて測定を行った。なお、デュロメータ値が明らかに大きい値となった箇所は、デュロメータの測定針にコンクリートの骨材が触れて大きくなったものと考えられるため、位置をずらして測定した。

また、透気試験の実施状況を写真-5に示す。透気試験実施

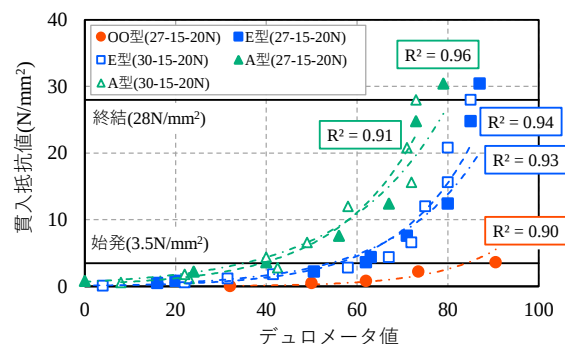


図-3 デュロメータ値と貫入抵抗値の関係

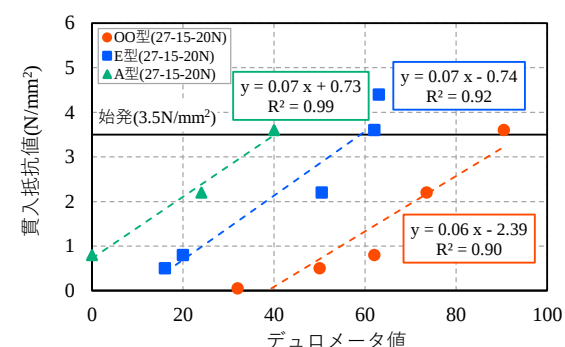


図-4 始発時間付近のデュロメータ値と貫入抵抗値の関係

表-8 各押さえ作業開始時の推定デュロメータ値

デュロメータ機種	推定デュロメータ値		
	アマ出し	中間押さえ	最終押さえ
OO 型	39.5	49.2	100 以上
A 型	0 以下	0 以下	73.6
E 型	11.2	19.4	90.9

表-9 トレント法による透気係数の評価基準

	優	良	一般	劣	極劣
透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	0.001~ 0.01	0.01~ 0.1	0.1~ 1.0	1.0~ 10	10~ 100

表-10 測定現場一覧

現場名	所在地	測定日	呼び名	混和剤	混和材
現場 A	岐阜県	2021/7/29	27-15-25N	AE (標準形)	EX
現場 B	北海道	2022/5/16	24-15-20N	AE (標準形)	BF
現場 C	大阪府	2022/8/1	27-15-20N	SP (標準形)	EX
現場 D	沖縄県	2022/8/29	30-15-20N	AE (遅延形)	EX
現場 E	広島県	2022/9/22	30-18-20N	SP (標準形)	—
現場 F	福岡県	2022/12/20	33-15-20N	AE (標準形)	EX
現場 G-1	岩手県	2023/2/15	21-15-25N	AE (標準形)	EX
現場 G-2		2023/2/16	21-15-25N		
現場 H	埼玉県	2023/3/16	27-15-20N	AE (標準形)	—
現場 I-1	茨城県	2023/9/19	27-15-20N	AE (遅延形)	EX
現場 I-2		2023/11/2	27-15-20N	AE (標準形)	
現場 J-1	千葉県	2023/6/30	27-15-20N	AE (遅延形)	EX
現場 J-2		2023/7/14	30-15-20N		

*AE:AE 減水剤 SP:高性能 AE 減水剤 EX:膨張材 BF:高炉スラグ微粉末

時は、文献 7)における方法を参考に、測定前には乾いた雑巾で埃を除去し、ひび割れ箇所を避けて測定を行った。

3.3 測定結果

各現場における測定結果一覧を表-12 に示す。風速や外気温等の測定値は、打込み開始から押さえ作業完了までの最小と最大値を示している。また、一部機械の不具合により測定が実施できなかった項目は「-」で示している。

3.3.1 透気試験結果

現場での透気試験の結果、透気係数の評価が「一般」以下の現場が多数を占めた。透気係数の評価が「良」以上となったのは、全 13 現場のうち 4 箇所だった。より精度の高い指標値を設定するには、さらに多くの現場データを収集する必要があると考えられる。

3.3.2 デュロメータ値の評価

測定を行った現場の各押さえ作業時におけるデュロメータ値の結果を図-5に示す。また、各押さえ作業開始時に測定したデュロメータ値のばらつきを比較するため、透気係数の評価が「良」以上のデュロメータ値と「一般」以下の値をそれぞれ抽出し、値のばらつきの指標となる変動係数(以下、CV とする)を押さえ作業ごとに求めた。結果を表-13 に示す。表-13 より、透気係数が「良」以上の現場の各押さえ作業時におけるデュロメータ値は、「一般」以下の現場に比べて CV が非常に小さく、一定の範囲でまとまりを示した。すなわち、コンクリート表層の品質が良好だった現場では、各押さえ作業を開始するタイミングはほぼ同程度だったことがわかる。

表-11 測定項目と方法

測定項目	測定時期	測定方法
デュロメータ値	打込み 当日	E 型のデュロメータを用いて測定 土間工が各押さえ作業を開始する直前に 5 か所で測定
風速		風速計を用いて測定 打込み箇所の近傍に設置
外気温		温湿度計を用いて測定
相対湿度		打込み箇所の近傍に設置
コンクリート温度		熱電対を用いて測定
透気係数	材齢 91 日 経過後	トレント法に準拠した試験機を用いて 5 か所で測定



写真-4 デュロメータ値測定状況(現場)



写真-5 透気試験実施状況

表-12 測定結果一覧

現場名	打込み当日											材齢 91 日経過後 ^{*3}	
	外気温(℃)		コンクリート温度(℃)		風速(m/s)		相対湿度(%)		デュロメータ値 ^{*1}			透気試験	
	最低	最高	最低	最高	最小	最大	最低	最高	アマ出し	中間押さえ	最終押さえ	透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	評価 ^{*2}
現場 A	24.1	32.6	—	—	0.3	4.2	—	—	11.0	25.0	49.0	0.750	○
現場 B	—	—	12.4	20.0	0.0	2.1	—	—	30.7	72.0	86.7	0.238	○
現場 C	33.7	39.6	—	—	—	—	39.9	59.2	32.7	50.3	72.0	0.056	◎
現場 D	29.9	32.9	30.5	43.4	—	—	59.0	79.6	24.3	66.3	82.0	0.037	◎
現場 E	22.5	25.3	22.2	29.5	0.0	3.3	54.6	66.4	17.0	31.7	71.0	0.531	○
現場 F	1.7	12.0	9.3	15.2	0.0	3.9	36.6	81.9	27.7	36.0	87.0	0.023	◎
現場 G-1	5.4	7.4	8.6	12.7	0.0	1.5	54.0	73.0	26.7	41.3	79.0	0.002	◎
現場 G-2	4.7	8.5	8.6	13.5	0.0	1.1	48.0	70.1	44.0	51.0	70.0	2.831	○
現場 H	12.7	24.1	15.2	28.3	0.0	0.0	24.6	58.0	54.4	61.7	89.0	0.104	○
現場 I-1	32.0	36.9	34.1	40.3	0.0	3.9	41.7	58.1	21.2	42.2	58.0	0.314	○
現場 I-2	23.0	26.1	23.2	35.9	0.0	3.7	33.1	46.7	27.4	38.2	59.0	0.102	○
現場 J-1	27.9	28.7	28.0	32.5	0.0	3.1	70.1	79.4	26.4	43.0	61.8	0.245	○
現場 J-2	25.1	27.9	25.7	32.8	0.0	2.7	67.1	80.8	36.0	43.0	60.4	0.560	○

*1:5 点で測定した値の平均値

*2:「良」以上を◎、「一般」以下を○と示している。

*3:材齢 91 日以降に測定したもの

したがって、適切なタイミングで押さえ作業を実施することで、コンクリート表層の品質を良好化できることが示唆される。また、デュロメータを使用することで、押さえ作業のタイミングを定量的に確認することが可能であると考えられる。

さらに、表-10、12 に示すように、透気係数の評価が「良」以上だった現場 C、D、F、G-1 はそれぞれ地域や打設時期、コンクリートの調合等の施工条件が異なるにもかかわらず、上記のような一定の傾向を確認できたことから、デュロメータ値による押さえ作業の評価は、施工条件によらず適用が可能なものと考えられる。

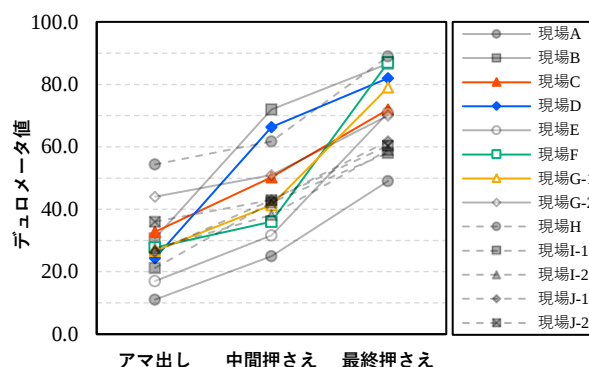
4. まとめ

本検討では、押さえ作業を開始するタイミングを評価する定量的な指標値としてのデュロメータ値の適用可能性を確認すること、およびデュロメータ値による指標値の設定を目的として、室内実験と現場測定を行った。本検討で得られた知見を以下に示す。

- (1) 押さえ作業を開始するタイミングを評価する指標としてデュロメータ値を用いる場合、コンクリートスラブの表面硬度を測定するのに最も適切なデュロメータの機種はE型である。
- (2) デュロメータの機種によらず、デュロメータ値と貫入抵抗値には相関関係がある。
- (3) デュロメータ値により、押さえを開始するタイミングを定量的かつ季節、地域、材料、調合の違いによらず評価できる。
- (4) より精度の高い指標値を設定するため、さらに多くの現場のデータが必要である。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事, 2007.
- 2) 伊藤淳,河野政典,赤星博仁:直床仕上げの施工管理手法に関する実験的検討,日本建築学会学術講演梗概集, 2020.
- 3) 吉野玲,鈴木好幸:床コンクリート施工の品質向上・省力化に関する検討,安藤ハザマ研究年報 Vol.8, 2020.
- 4) 加藤淳司,槇島修:デュロメーターによる金ごて仕上げおよび湿潤養生の作業開始管理法の提案,とびしま技報 No.65, 2017.
- 5) 長谷川雄基,長束勇,谷村成,佐藤周之:表層透気係数を指標とした水路コンクリートおよび無機系補修材料の耐摩耗性の推定に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.1,2017.
- 6) 野島昭二,渡邊晋也,藤原貴央,谷倉泉:透気係数を用いたコンクリートの品質評価と測定条件に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集 Vol.36 No.1,2014.
- 7) 半井健一郎,蔵重勲,岸利治:かぶりコンクリートの透気性に関する竣工検査ースイスにおける指針ー,コンクリート工学 Vol.49 No.3,pp.3-6,2011.



濃線：透気係数「良」以上、薄線：透気係数「一般」以下

図-5 デュロメータ値測定結果

表-13 透気係数の評価が「良」以上と「一般」以下のデュロメータ値の比較

	「良」以上の現場			「一般」以下の現場		
	アマ出し	中間押さえ	最終押さえ	アマ出し	中間押さえ	最終押さえ
平均値	27.9	48.5	80.0	29.8	45.3	67.2
変動係数 CV(%)	11.0	23.7	6.8	42.7	30.2	18.8