

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

A Durometer-Based Method of Deciding when to Start Metal Trowel Finishing and Moist Curing

加藤 淳司^{*1} 槇島 修^{*1}
Junji Kato Osamu Makishima

【要旨】

コンクリート構造物のスラブ上面は、打込み直後から外気に露出するため、表面からの水分散逸によるひび割れや水和不良などの不具合を生じやすい。この対策として、金ごて仕上げで表層部を緻密化するとともに、湿潤養生により水和反応を促進することが考えられるが、これらの作業開始時期は、これまで、左官工やコンクリート工の目視・触診などによって、経験的に行われてきた。しかし、経験的な判断では、担当者の主観によって誤差を生じ、適切な実施時期に遅延を生じ、不具合を生じる場合がある。

日本建築学会「JASS15 左官工事」および「JASS5 鉄筋コンクリート工事」では、金ごて仕上げや湿潤養生の開始時期について、凝結状態を指標とした判断の記述があるものの、定性的な表現や実施工下では実施が困難な判断基準があった。そのため、信頼性の高い施工管理を行うには、凝結状態を原位置で定量的に評価し、金ごて仕上げや湿潤養生の適切な開始時期を判断することが必要であった。

そこで、筆者らは、定量的に表面の硬さが測定でき、小型軽量で安価、かつ躯体面への損傷が極めて小さい貫入式の硬度計「デュロメーター」に着目した。実験結果からデュロメーターの測定値とプロクター貫入抵抗値には高い相関関係が認められ、デュロメーターにより凝結状態を定量評価できることを確認した。

本報では、これらの実験結果と実施工への適用によって得られた知見より、スラブ上面の凝結管理にデュロメーターを適用することの有効性を示す。

【キーワード】 デュロメーター 凝結管理 スラブ 金ごて仕上げ 湿潤養生

1. はじめに

建築構造物のスラブ上面は、部材厚さが小さく、打込み直後から外気に露出する部位であり、部材の中でも厳しい乾燥環境下にある。そのため、打込み完了後の作業となる金ごて仕上げや湿潤養生では、スラブ表面の品質を確保するための配慮が求められ、特に、当該作業の実施時期の判断が重要となる。

スラブ上面の金ごて仕上げの実施時期については、日本建築学会「JASS15 左官工事¹⁾」において以下のように示されている。

- (1) 金ごて仕上げ初回：踏み板の上に乗ってもほとんど沈まなくなった時に行う。
- (2) こて押え：コンクリートの硬さがこてのかかる最終段階の時期に、締め具合を見ながら押える。

また、スラブ上面の湿潤養生の方法と実施時期について、日本建築学会「JASS5 鉄筋コンクリート工事²⁾」において以下のように示されている。

- (1) 養生マットや水密シートの養生：(こて) 仕上げ後
- (2) 散水等、水分供給養生：凝結の終結後
- (3) 膜養生、浸透性薬剤の養生：ブリーディング終了後

このように、金ごて仕上げ、湿潤養生ともに、その開始判断は定性的であったり、実施工での実施が困難な判断であるため、作業開始の判断は、左官工やコンクリート工の目視・触診などによって、経験的に行われているのが実状である。しかし、この判断方法では、担当者の主観や曖昧さも加味されてしまうため、適切な実施時期を逸脱してしまう可能性がある。そのため、施工管理において定量的に、金ごて仕上げ、湿潤養生の開始タイミングを判断し、指示することが品質を確保するために必要と考えられる。

そこで、筆者らは、作業開始のタイミングを定量的に判断するためには、凝結状態を実用的な手法で評価することが必要と考え、プラスチック製品やゴム製品の硬さ検査で用いられる、写真-1に示す硬度計「デュロメーター」に着目した。

デュロメーターとは、JIS K 7215³⁾に規定される試験機で、試験機底部の貫入針を、写真-1のように評価面に押付けて貫入し、底部の加圧基準面が評価面に密着した際の貫入針のストロークを読み取るものである。試験対象が軟らかく針が押されない場合は0、反対に、試験対

1. 本社 技術研究所 研究開発グループ 第三研究室

象が硬く針が試験機側に完全に埋没すれば 100 と表示される。なお、針の形状の違いによって、D型、C型、A型、E型などの種類がある。

コンクリートの凝結判定にデュロメーターを使用した場合、原位置の凝結状態の定量評価ができ、金ごてや湿潤養生の作業開始判断が可能となる。また、この試験機は、小型軽量かつ安価であることから、汎用的で実用性が高いと考えた。さらに、貫入針が微小なため、実構造物への損傷が、最小限に抑えられることも利点と考えた。

以上より、本報では、コンクリートの凝結管理にデュロメーターの適用を検討した結果と、実施工への適用事例を紹介する。

2. 実験概要

2.1 デュロメーター測定値による凝結評価

デュロメーターの適用性を確認するため、厚さ150mm×長さ900mm×幅900mmのスラブ模擬試験体（以下、模擬体と示す）を対象にデュロメーター測定値（以降HD値と記述する）と貫入抵抗試験（JISA 1147コンクリートの凝結時間試験方法）による貫入抵抗値（以降、プロクター貫入抵抗値と示す）との関係を把握した。今回の検討では、写真-2に示すD型（針状）およびC型（球状）の2種類のデュロメーターを評価に用いた。

2.2 積算温度とHD値の関係把握

大まかな作業開始判断に用いるため、模擬体を用い、D型デュロメーターによる積算温度 $T \cdot T$ とHD値の関係を把握した。なお、積算温度 $T \cdot T$ は、式-1に示す、積算温度計算手法⁴⁾によった。

$$\text{積算温度 } T \cdot T = T \cdot (t + t - 20/m) \quad (\text{式-1})$$

T : 注水からの経過時間 (h)

t : 平均養生温度 (°C)

m : $t < 20^\circ\text{C}$ の場合 $m=5$, $t \geq 20^\circ\text{C}$ の場合 $m=2$

2.3 コンクリートの状態とHD値の関係把握

金ごて作業や、養生開始の判断に、必要なコンクリートの状態に対応するHD値を確認した。なお、設定したコンクリートの区分は、JASS5およびJASS15を参考に、表-1に示すような状態とした。

なお、表-1のそれぞれの区分として、「金ごて①」は、ブリーディングが概ね終了し、金ごてで平滑になる柔らかさの状態、「金ごて②」は、光沢の出る最終仕上げが可能な状態、「散水養生」は、養生用の散水のためにホースから水を流してもスラブ表面に不具合を生じない状態、「歩行可能」は、散水時に、スラブ上を長靴で静かに歩いても靴跡が残らない状態、と設定した。

写真-3に散水不具合例、写真-4に軽歩行後靴跡残存例を示す。



写真-1 デュロメーターによる測定状況

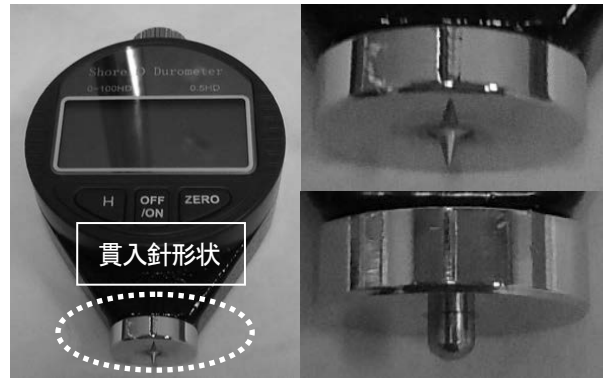


写真-2 デュロメーター貫入針形状 (上D型/針状, 下C型/球状)

表-1 コンクリートの状態と状態区分

状態区分	コンクリートの状態
金ごて均し (金ごて①)	生じたブリーディング水が徐々に減少し、仕上げるとセメントペーストが浮き出して、平滑になり、僅かにこてむらが残る程度。
金ごて押え (金ごて②)	金ごて押えにて、表層厚さ数 mm 程度しか動かない程度に凝結が進み、強めに押えと、こてむらが残らず、光沢が出て仕上がる程度。
散水養生	毎分 150程度の水を表面に流した場合、スラブ表面のセメント分が流出せず、ペーストが剥離しない程度。
歩行可能	体重 65kg の人間が歩行した場合に、ゴム長靴の裏面模様がスラブ表面に残存しない程度。

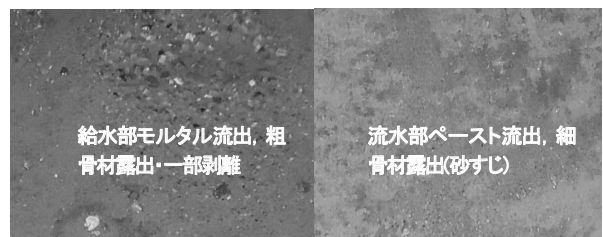


写真-3 表面散水(流水)後不具合例

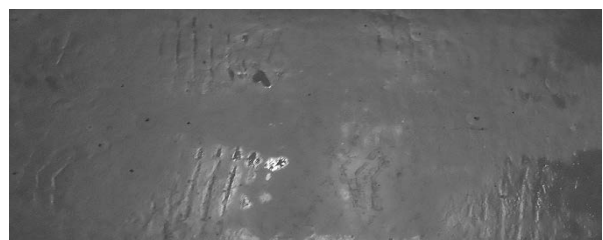


写真-4 軽歩行後靴跡残存例

2.4 コンクリート調合条件と実施環境

検討の対象としたコンクリートは、W/C50%スランブ18cmの一般的な建築調合とした。また、実験は、秋から春の期間に、屋外にて実施した。

3. 実験結果

3.1 デュロメーターと積算温度の関係把握

HD値とプロクター貫入抵抗値の関係を図-1に示す。図で示した範囲にて、D型の寄与率は0.92、C型の寄与率は0.90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ーを用いることが有効であることを確認した。特にC型は、プロクター貫入抵抗値の小さい範囲を敏感に評価できるため、凝結開始から始発(3.5N/mm²)付近の評価に適すと考えられた。

3.2 積算温度とデュロメーターの関係把握

積算温度T・TとD型HD値の関係を図-2に示す。両者には寄与率0.90と高い相関関係が認められ、積算温度から概ねHD値を推定できることを確認した。ただし、その関係には、ばらつきも認められる。よって、実施工において、積算温度法にて凝結管理を行う場合、大まかな作業開始の時間予測が可能と考えられる。

3.3 金ごて仕上げ開始の判断

金ごて仕上げの開始判断の試験結果を表-2に示す。ここでの評価は、表-1で示した「金ごて①」「金ごて②」の状態を判断し、デュロメーターC型によった。また、その時刻の積算温度T・Tを参考として併記した。

- (1) 「金ごて①」開始に対応するデュロメーターC型HD値は9.8と確認され、現状、10と設定する。
- (2) 「金ごて②」開始に対応するデュロメーターC型HD値は40.8と確認され、現状、41と設定する。

3.4 散水および歩行開始の判断

散水養生開始および歩行可能判断の試験結果を表-3に示す。ここでの評価は、表-1で示した「散水養生」「歩行可能」の状態を判断し、デュロメーターD型によった。また、積算温度T・Tを参考として併記した。

- (1) 「散水養生」開始に対応するデュロメーターD型HD値は11.8と確認され、現状、12と設定する。
- (2) 「歩行可能」開始に対応するデュロメーターD型HD値は、39.3と確認され、現状、40と設定する。

なお、実際の作業時間について、表-2、表-3において示した「開始判断」から、15分以内に作業を開始し、20分程度で作業が終わる想定としている。

3.5 実験結果のまとめ

以上の実験から得られた結果を表-4にまとめ、目安

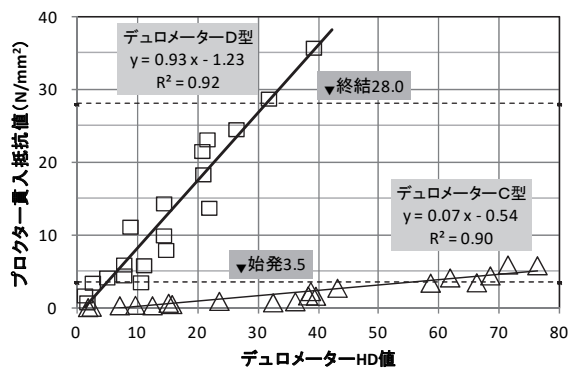


図-1 HD値とプロクター貫入抵抗値の関係

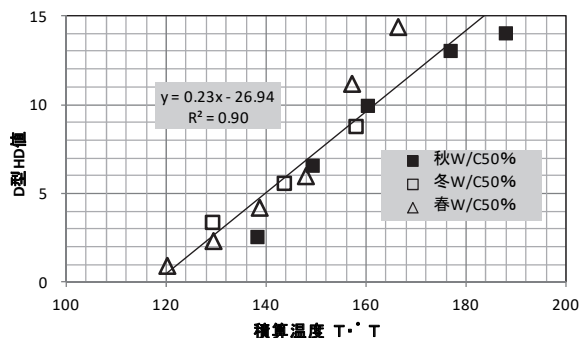


図-2 積算温度T・TとD型HD値の関係

表-2 金ごて仕上げ開始判断試験結果

調合名	コンクリート表面平均温度(°C)	金ごて①		金ごて②	
		C型HD値	T・T	C型HD値	T・T
W/C50 冬	15.4	12.5	88.9	38.3	106.2
W/C50 春	22.3	7.1	79.2	43.2	104.1
平均	—	9.8	84.1	40.8	105.2

表-3 散水および歩行開始判断の試験結果

調合名	コンクリート表面平均温度(°C)	散水養生		歩行可能	
		D型HD値	T・T	D型HD値	T・T
W/C50 冬	6.9	8.8	157.9	—	—
W/C50 春	22.3	14.8	145.0	39.3	217.4
平均	—	11.8	151.5	39.3	217.4

表-4 打込み後の作業に対する積算温度、注水からの経過時間、HD値のまとめ

作業種類	積算温度T・T	養生温度に対する注水からの時間(H)			デュロメーターHD値	
		10°C	20°C	30°C	C型	D型
金ごて①	84.1	7.0	4.2	2.4	10	—
金ごて②	105.2	8.8	5.3	3.0	41	—
散水養生	151.5	12.6	7.6	4.3	—	12
歩行可能	217.4	18.1	10.9	6.2	—	40

として、その状態が得られる積算温度および温度環境に応じた経過時間を目安として示す。また、表-4から得られた要点を以下に示す。

- ・デュロメーターC型を用いることで、金ごて作業開始を、デュロメーターD型を用いることで、散水養生と

歩行可能の状態を定量的に判断できる。また、この管理は凝結状態の定量的な判定であるため、異なる調査や季節であっても適用できるものと考えられる。

- ・施工計画の段階では予測される気温から大まかな作業開始時間を積算温度で予想し、施工管理では、原位置にてデュロメーターによる凝結管理を用いることで計画的かつ合理的な品質管理が可能と考えられる。

4. 実施工適用事例

実施工において金ごて仕上げの実施時期の施工管理にデュロメーターを適用した事例を以下に紹介する。

4.1 施工条件

- ・実施地域：東京都多摩地区
- ・実施時期と気温：6月中旬，最高気温 25.4℃
- ・使用したコンクリート：呼び強度 50N/mm²
- ・仕上げ方法：高強度コンクリートであるため，機械ごて（トロウエル）使用。

4.2 管理条件

- ・金ごて①：機械ごて（トロウエル）の使用の条件により，左官工と調整した結果，管理値は検討結果より 5 高い C 型 HD 値 15 に設定した。
- ・金ごて②：検討結果より，管理値は C 型 HD 値 41 に設定した。

4.3 結果

実施工に適用し，以下の結果を得た。

- ・デュロメーターの計測は容易であり，所定の金ごて仕上げ開始タイミングを指示できることを確認した。
- ・デュロメーターは，小型軽量で携行性が高く，現場における作業に支障のないことを確認した。
- ・デュロメーター測定で生じた微小な穴は，金ごて仕上げの際に容易に消去できることを確認した。
- ・積算温度を基に計画した実施時期に比べ，気温変動や日射の影響によって，金ごて①および金ごて②の作業

開始時間が早まったが，デュロメーターによる計測では正でき，適切な凝結状態で仕上げ作業を実施することができた。このことで，デュロメーターが品質確保に有効な施工管理方法になるものと考えられた。

- ・高強度コンクリートにおいても，デュロメーターによる原位置凝結管理を適用できる可能性が見いだせた。

5. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

- ・デュロメーター HD 値とプロクター貫入抵抗値には高い相関があり，デュロメーターにより凝結状態を把握することが出来る。
- ・デュロメーター C 型で金ごて仕上げ開始時期を，デュロメーター D 型で湿潤養生と歩行可能の時期を定量的かつ季節の違いによらず評価できる。
- ・実施工における施工管理にデュロメーターを適用することで，原位置の凝結状態の評価に基づいた作業指示が可能であった。
- ・実施工下にて，表面温度を使った積算温度による計画時刻と凝結状態の不一致を HD 値計測で是正できたため，デュロメーターによる凝結管理は，品質確保に有効な施工管理方法になるものと考えられた。
以上のようにデュロメーターの有効性を確認できたが，さらなる実施工データの蓄積を行い，管理法の信頼性を高めるとともに，実施工に適用した場合の課題を抽出し，解決した実用性の高い管理方法を整備したいと考える。

【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) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，2015。
- 3) JIS K 7215 プラスチックのデュロメーター硬さ試験方法，1986。
- 4) 笠井芳夫：コンクリートの初期圧縮強度推定法，日本建築学会論文報告集，第 141 号，pp.1-10，1967。

Summary The top surface of a structural concrete slab becomes exposed to the outdoor air upon concrete placement. Concrete slabs, therefore, are subject to defects due to moisture dissipation from the concrete surface such as cracking and incomplete hydration. Such defects can be prevented, it is desirable to properly implement the metal trowel finish and the wet curing. But, in the past, there has been a history of leaving worker's decision to start work on visual inspection and palpation. However, in an empirical judgment, there was a case where a failure occurred, deviating from an appropriate implementation time, and trouble occurred. On the other hand, in the literature of the past, it was a difficult method to express qualitatively the appearance timing of metal trowel finish or wet curing, or on the construction site.

As a solution to this problem, we focused on "Durometer" which is a penetration type general-purpose hardness tester for the purpose of carrying out reliable construction management, and carried out the experiment. As a result of the experiment, it was confirmed that the condensation state can be quantitatively evaluated by the durometer.

On the basis of the experimental results and the knowledge gained by field-testing the durometer method of measurement, this paper shows the validity of using the durometer method for slab top surface setting management.

Key Words : Durometer, Setting control, Slab, metal trowel finish, wet curing