

表面はく離を再現した床コンクリート直仕上げ作業に関する一考察

伊藤秀太郎 飯田 康介 安藤 綾司^{※1}
日村みのり 添田 智美 塩田 博之^{※2}

概 要

床コンクリートの施工においては、表面はく離の発生が品質上の重要な課題の一つとして認識されている。当社では、過去の不具合事例を踏まえ、表面はく離防止の観点から床コンクリート直仕上げ作業における騎乗式トロウエルの使用を原則禁止としてきた。しかしながら近年、施工の効率化や省力化への要求が高まる中、その適用条件を合理的に見直す必要が生じている。そこで本報では、表面はく離を再現した模擬施工実験を実施し、騎乗式トロウエルの使用が表面品質に与える影響を検証した。その結果、騎乗式トロウエルの使用方法に関連した表面はく離の要因、およびその他の作業に由来する要因を抽出した。さらに、作業時間の管理方法として、N式貫入試験を活用できる可能性を見出した。

A Study on Direct Finishing Work of Concrete Floors with Reproduced Surface Delamination

Abstract

In recent years, surface delamination has been recognized as a significant quality issue in the construction of concrete floor slabs. Based on our understanding of past defects, Fujita has, in principle, prohibited the use of ride-on power trowels for direct-finishing floor concrete work to reduce the risk of surface delamination. However, with recent demands for improved construction efficiency and labor savings, it has become necessary to rationally reassess the conditions under which ride-on power trowels may be used.

In this study, a series of mock construction experiments was conducted to reproduce surface delamination and to investigate the effects of ride-on power trowel operation on surface quality. The results identified factors contributing to surface delamination associated with the use of ride-on power trowels, as well as factors originating from other finishing operations. Furthermore, the findings suggest that the N-type penetration test has potential as a practical method for managing and determining the appropriate timing of finishing operations.

キーワード：床コンクリート、騎乗式トロウエル、表面はく離、不具合防止、凝結試験、N式貫入試験

※1 東広島事業部

※2 建築本部 建築技術統括部 技術部

§1. はじめに

床コンクリートの直仕上げ作業は長時間の労力を要する作業となりやすく、作業者の負担軽減のため様々な取り組みがなされている。そのような中、騎乗式トロウエルは、一度に広い面積を押さえることによる高い作業効率や、座った姿勢で作業が出来ることによる身体的負担の軽減といった長所を持ち、普及が進んでいる。一方、騎乗式トロウエルにより表面はく離が発生し、美観上の問題が発生している。

三上ら¹⁾は機械ごての角度・荷重・速度といった仕様や仕上げ時間・回数、及びコンクリートの性状が、床の仕上がりに及ぼす影響について検討し、こて仕様ごとに適切な仕上げ時間が、また仕上げ時間ごとに適切なこて仕様が存在することを明らかにした。五十嵐ら²⁾は、仕上げ作業に軽量のハンドトロウエルと騎乗式トロウエルとを用いた場合を比較する実験を通じ、騎乗式トロウエルは過度な仕上げや表面はく離を引き起こしやすいことを明らかにした。こうした不具合の防止を目的の一つとして、安藤ら³⁾は定量的な押さえ着手時期の判定方法として実物件にて凝結試験による貫入抵抗値(JISA 1147)を適用している。また吉野ら⁴⁾は作業時間を凝結試験による貫入抵抗値と関連づけながら、所要時間や表面はく離について実験的に検討している。

表面はく離の原因を明らかにするためには、気象条件やコンクリートの使用材料、調合などの検討も必要

と考えるが、本稿では現場でコントロールしやすい要因として、施工のタイミングに着目し、表面はく離の発生を実験的に再現し、表面はく離の原因となる施工方法について検討することとした。

§2. 実験計画

実験計画に先立ち、騎乗式トロウエルを使用した仕上げ作業を観察し、適切な作業手順や、作業時間について記録した。その結果、今回は「直仕上げ方法」に着目し、実験計画を立案した。

2.1 直仕上げ方法

表1に本実験で行った直仕上げ方法の一覧を示す。ここでは、不陸の調整を目的として鋼製の円盤を装着したトロウエルでコンクリート表面を押さえる作業を「ムラ直し」、コンクリート表面にペースト分を浮き上がらせ、仕上げ可能な状態を保つ作業を「アマ出し」、フレスノや回転ごてを使用した最終の仕上げ作業を「仕上げ」とそれぞれ称する。

小面積の施工となるため、レベルは型枠天端に擦り付けることで取り、ティルティングレベルやレーザーレベルによる管理は特に行わなかった。また、同じく小面積の施工であったため、バイブレーターは1本のみ使用した。

タンピングには、手動タンパー・電動タンパーを併用した。また、騎乗式トロウエルは円盤の装着が可能な、重量220kgの機種を使用した。使用状況を写真1

表1 直仕上げ方法の水準

工程 工区	打設	荒ならし	締固め	タンピング	ムラ直し	アマ出し	仕上げ	備考	
①	ポンプ 圧送	レーキ による かっぱぎ 作業	バイブ レーター (1本)	電動 タンパー ・ 手動 タンパー	騎乗式トロウエル (円盤)	騎乗式 トロウエル (円盤)	ハンドトロウエル (鏡面)	仕上げ作業を長く実施	
②					ハンドトロウエル (円盤)		フレスノ仕上げ	作業タイミングの指定なし	
②'					騎乗式トロウエル (円盤)		ハンドトロウエル (鏡面)	②に加え鏡面仕上げ	
③							—	ムラなおしの早期実施を試み、 その後アマ出しを長時間実施	
④							フレスノ仕上げ	ムラなおし以降を遅延して 実施	
④'							騎乗式トロウエル (鏡面)	④に加え鏡面仕上げ	



写真1 手動タンパー



写真2 電動タンパー



写真3 騎乗式トロウエル

から3に示す。

なお、作業完了後、特に湿潤養生などは行わなかった。

2.2 試験施工区画

図1に試験施工区画を示す。試験は屋外で実施し、碎石を敷き均し平坦にした試験場所に敷き鉄板を敷設し、水分の散逸の少ないデッキスラブを模擬するため防湿シートを敷き、これをコンクリートの底面とした。側面に使用する型枠は厚さ12mmのコンクリートパネルとし、コンクリートの厚さは200mmとした。工区の境界は機械を容易に往来させ、端部付近まで仕上げ作業が出来るよう、型枠とコンクリートの天端を揃えた。また、土間工と事前協議の上、騎乗式トロウエルの走行が問題なく行える広さとして、1区画の広さを5m四方とした。写真4に、型枠の設置状況を示す。試験体を残置できる期間に制約があったことなどから、解体を加味して無筋にてコンクリートの打設を行った。

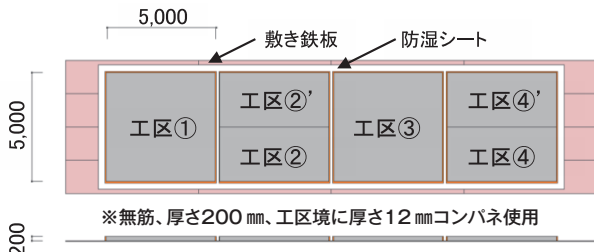


図1 試験施工区画



写真4 型枠の設置状況

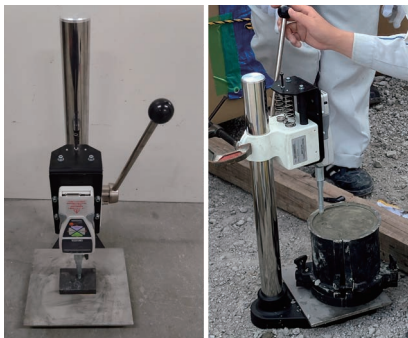


写真5 使用した凝結試験機と試験状況



写真6 N式貫入試験の実施状況

2.3 その他の試験条件

使用するコンクリートは一般的なデッキスラブを想定し、27-15-20-Nとした。コンクリートの調合表を表2に示す。また、試験に参加した作業人員を表3に示す。

表2 調合表

単位量 (kg/m ³)					
セメント	混和材	水	細骨材	粗骨材	混和剤
324	20	175	787	991	3.24

※混和材:コンクリート用膨張剤 ※混和剤:AE減水剤 遅延型 (I種)

表3 作業人員

職種	作業	打設	仕上げ
土間工		3名	最大5名
土工		2名	—
圧送工		2名	—

2.4 計測項目

施工当日、および後日に計測した項目を表4に示す。

表4 計測項目

測定項目	試験方法	備考
施工当日 (2025年9月22日) に計測		
作業時間	作業の開始・終了時刻を記録	機械・用具の入れ替えを確認
コンクリートの凝結	凝結試験	JIS A 1147によるプロクター貫入試験
	N式貫入試験	コールドジョイントの簡易判定法
施工から約2か月後 (2025年11月19日) に計測		
はく離範囲の確認	打音検査	打診棒を使用
はく離界面の確認	コアの採取	各工区のはく離部・健全部から採取
	簡易引張試験	日本建築士学会認定の簡易引張試験器
表面強度	引っかかり試験	日本建築士学会認定の引っかかり試験機

凝結試験、N式貫入試験および引っかかり試験の使用機器状況を写真5から7に示す。N式貫入試験は、コールドジョイントの簡易判定法として提案された、スランプ試験に用いる突き棒をコンクリート表面から75cmの高さより落下させる試験⁵⁾である。



写真7 引っかかり試験の実施状況

§3. 実験結果

3.1 コンクリート受入れ試験結果

コンクリートの受入れ試験の結果を表5に示す。

表5 受入れ試験結果

スランプ (cm)	17.5
空気量 (%)	5.1
コンクリート温度 (°C)	32
塩化物量 (kg/m³)	0.01

実験地である千葉県八千代市に隣接する船橋市の施工当日の気象データを図2に示す。

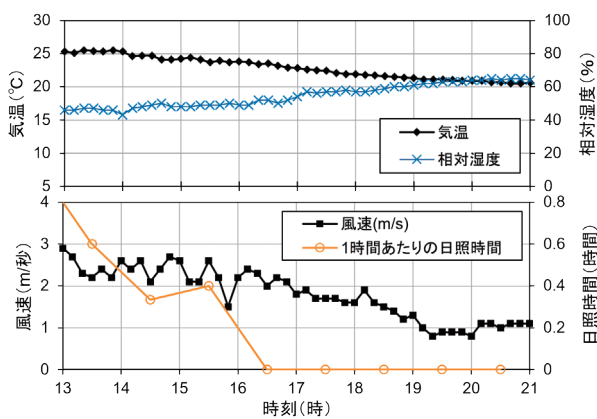


図2 施工当日（2025年9月22日）の気象測定データ（船橋市）

3.2 施工当日の計測結果

図3に、試験施工中に記録した各工区の作業時間、凝結試験およびN式貫入試験の結果を示す。

〔作業時間〕

まず作業時間について、コンクリート打設～タンピングに要した時間を見ると、工区②と②'、工区④と④'をそれぞれ同時に行う際、仕切りの両側へコンクリートを配りながらの打設となった分、工区①や工区③と比較して時間を要した。また、これらの工区ではムラ直し・アマ出しはそれぞれ同時に実施した。

工区①、工区④でのムラ直しとアマ出しはどちらも円盤を装着した騎乗式トロウエルにより連続的に行われ、この境界を明確にすることは困難であった。そのため、作業時間の記録は、使用機械の入れ替えをもとに行なった。

工区③において騎乗式トロウエルの早期投入を試みたのは16:02（打設開始の2:17後）であり、騎乗式トロウエルがコンクリートに沈み込み作業の実施が困難であったため、すぐに作業を中止した。その後コンクリート表面の復旧を17:16（打設開始の3:21後）より開始し、

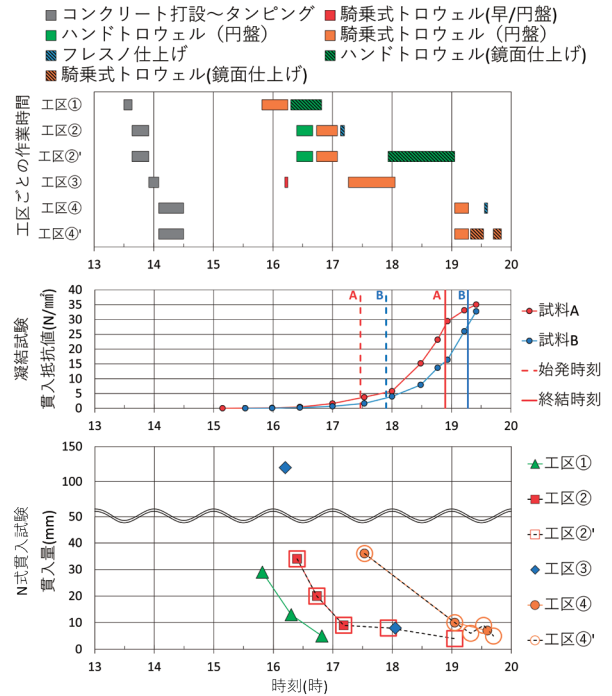


図3 作業時間および凝結試験・N式貫入試験の結果

そのまま騎乗式トロウエルを使用し続けたところ、18:03（打設開始の4:08後）にはく離が発生した。

工区④と④'では、17:32（打設開始の3:27後）に土間工より、仕上げ作業を開始するタイミングとして適切との判断があった。実際の作業開始はここから約90分程度遅延させ、19:03（打設開始の4:58後）から19:17（打設開始の5:12後）まで騎乗式トロウエルによるムラ直し・アマ出し作業を実施した。この際、アマが不足し作業が困難であったため、養生剤を散布しながら実施した。

〔凝結試験〕

凝結試験の結果は、工区②で採取した試料を試料A、工区③で採取した試料を試料Bとして示す。工区②の作業は概ね試料Aの始発前に終了しており、工区②'の作業は試料Aの終結前後まで継続した。工区③ではく離が発生したタイミングは、試料Bの始発を過ぎた頃であった。

〔N式貫入試験〕

N式貫入試験の結果を見ると、試験の本来の目的であるコールドジョイントの簡易判定よりも凝結が進行した、仕上げ作業を行うタイミングにおいても、凝結の進行を表現できている様子が確認できる。

作業の切り替えにあたるタイミングの他、工区④において土間工より仕上げ作業を開始に適切と判断されたタイミングにおいても貫入量を計測した。また、工区④の作業開始はN式貫入試験の貫入量を参照し、

10mmまで低下した時点で作業を開始した。

図4に、工区②・③で得られた凝結試験とN式貫入試験の結果の関係を示す。岡沢ら⁵⁾によるコールドジョイントの簡易判定法についての概説には、凝結試験による貫入抵抗値が1N/mmの時にN式貫入試験の貫入量が50mm程度となる関係が示されており、工区③での結果はこれに近い結果となったが、工区②ではN式貫入試験の貫入量の低下が早い結果となった。

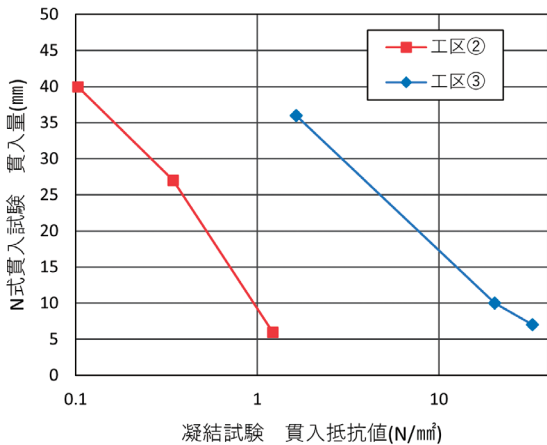


図4 凝結試験とN式貫入試験の関係

3.3 施行2ヶ月後の計測結果

〔はく離状況〕

図5に各工区のはく離発生箇所を示す。あわせて、コアの採取箇所、簡易引張試験の実施箇所、ひっかき傷幅の計測箇所を記す。

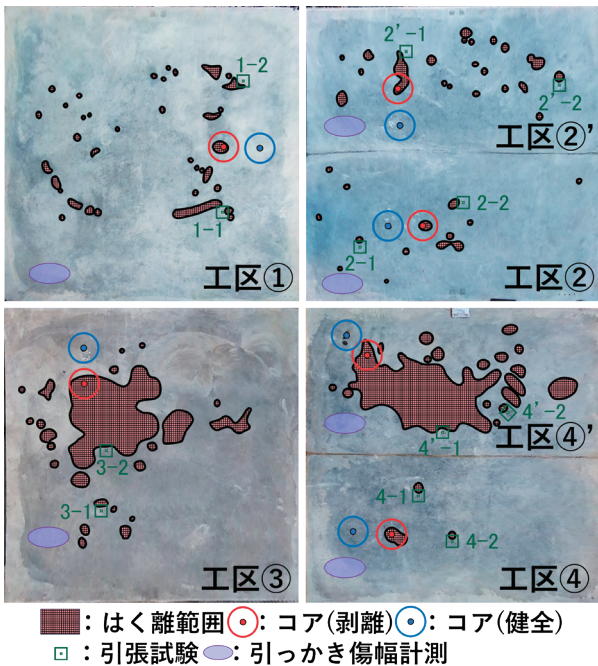


図5 各工区のはく離発生箇所

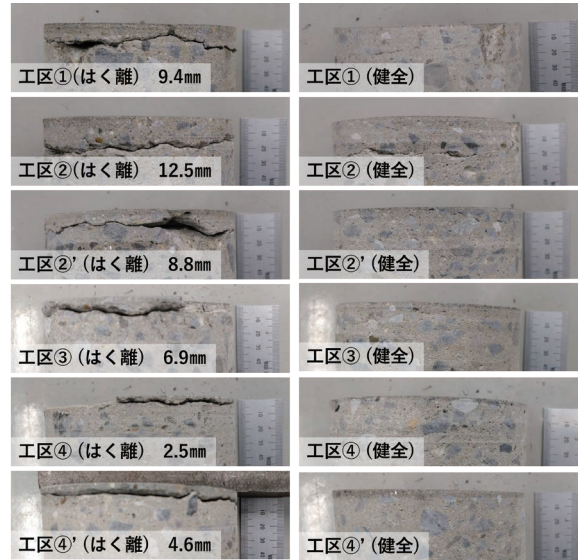


写真8 採取したコアの側面

〔はく離深さ〕

写真8に採取したコアの側面の写真をまとめて示す。はく離箇所から採取したコアの写真に併記した数値はコンクリート表面からはく離層までの深さであり、コアの外周8点の平均によって算出した。

〔引張試験〕

表6に引張試験の結果を示す。鋼製アタッチメントの周囲には深さ20mm程度を目安にディスクグラインダーを用いて切り込みを設けた。この際表面がはく離して外れた箇所については表6において引張強さを「※1」と記載した。また、破壊界面が切り込みの底部となった場合の破壊深さは、「※2」と記載した。

〔引っかき傷幅〕

表7に引っかき傷幅の計測結果を示す。引っかき傷幅は、1本の引っかき傷上でクラックスケールにより10箇所を計測し、その平均値を示した。

表6 引張試験の結果

試験箇所	引張強さ (N/mm²)	破壊深さ
1-1	0.15	2～5mm
1-2	1.25	5～6mm
2-1	1.77	※2
2-2	1.59	※2
2'-1	1.88	※2
2'-2	1.12	7～8mm
3-1	1.32	6～10mm
3-2	0.11	5～6mm
4-1	1.41	0～3mm
4-2	※1	1～2mm
4'-1	※1	2～4mm
4'-2	0.24	3～5mm

表7 引っかき傷幅の計測結果

工区	引っかき傷幅 (mm)
1	0.14
2	0.14
2'	0.10
3	0.15
4	0.11
4'	0.14

※1：切込み時に破損
※2：切込み底部で破壊

§4. 各工区における考察

各工区における考察を以下に述べる。

〔工区①〕

ハンドトロウエルによる仕上げの際、表面の不陸によって作業がしにくいとの意見が聞かれた。こての当たり方にムラが生じた結果、過度に仕上げられ、はく離が生じたものと考えられる。はく離層はやや深い位置に、骨材の間を縫うようにして発生している。作業終了はN式貫入試験の貫入量が5mmとなった16:49（打設開始の3:49後）であった。

〔工区②〕

コンクリート表面に内在気泡の上昇によるふくれが確認され、通常は発見次第気泡を抜くことで修正可能であるが、敢えて修正しなかった。はく離は気泡によるものと考えられ、他工区よりも比較的深い層にその界面が生じている。工区②での土間工の判断した作業時間を見ると、凝結試験における試料Aの始発時刻前後、N式貫入試験における貫入量が9mmとなった17:11（打設開始の3:33後）に作業を終了している。

〔工区②'〕

②よりもはく離箇所が多く、長時間の仕上げ作業が表面はく離を引き起こしやすいことが分かった。はく離層は工区①のようにやや深い箇所が生じた。作業終了は凝結試験において終結を超え、N式貫入試験における貫入量が4mmとなった19:03（打設開始の5:25後）であった。

〔工区③〕

騎乗式トロウエルの円盤によるアマ出しを長時間実施し、回転ゴてでなくとも表面はく離が生じることが分かった。施工中にはく離が確認されたのは、凝結試験において試料Bが始発時刻を過ぎた程度、N式貫入試験においては貫入量が8mmとなった18:03（打設開始の4:08後）であった。工区③においてもはく離層はやや深い位置に生じた。

こうしたはく離はこて掛けによるせん断力がコンクリートの表層部と下層部との間にずれを生じさせたことが要因として考えられ、工区③では、写真9に示すように、円盤の回転方向に引きずられるようなはく離の様子が確認できた。

〔工区④〕

アマが不足し、養生剤を散布しながらの作業となった。その結果、薄いモルタル層が一体化せずに形成されはく離となったと考えられる。コアの状況から、一度平坦に均された面と、表面の薄い層との間ではく離を生じており、引張試験の結果からはく離箇所の周辺



写真9 工区③ではく離状況

にも脆弱層が分布していることが考えられる。一見してはく離箇所の少ない工区となったが、実際に床として供用され動荷重が加わった場合にはく離箇所が広がったり、破損したりすることが考えられる。作業終了はN式貫入試験の貫入量が7mmとなった19:36（打設開始の5:31後）であった。

〔工区④'〕

工区④とコアの状況や引張試験の結果は類似しているが、広い範囲ではく離が生じた。工区④と同様に実施したムラなおし・アマ出しまでの工程で形成された薄いモルタル層が、鏡面仕上げによる強いこて圧によって広くはく離したのと考えられる。後からアマを補って表面を仕上げても、凝結の進みすぎたコンクリートの表面と一体化させることは困難であり、適時仕上げ作業ができる計画が望ましい。作業終了はN式貫入試験の貫入量が5mmとなった19:42（打設開始の5:37後）であった。

§5. おわりに

床コンクリートの直仕上げ過程での表面はく離について以下のような要因を確認した。

- ・騎乗式トロウエルに限らない、長時間の仕上げ作業
- ・鋼製円盤を用いた、長時間のアマ出し作業
- ・アマの不足を補う目的での養生剤散布による薄いモルタル層の形成
- ・気泡の残留や表面の不陸

また、作業時間の目安として、凝結試験のほか、N式貫入試験も活用があることがわかった。

謝辞

試験実施にあたり、東海大学横井健教授、東京科学大学福田眞太郎准教授には、貴重なアドバイスをいただきました。深く謝意を表します。

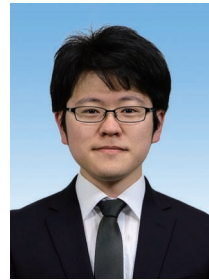
また、実験にご協力頂いた作業所関係者および協力会社の皆様にも感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三上貴正、荒川琢也、小野英哲：コンクリート直仕上げ床の仕上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報告集、第453号、pp.27～37、1993.11
- 2) 五十嵐堅次、飯野良夫、石井正憲、阿部サチ：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
- 3) 安藤雄基、平野竜行：床コンクリートの品質・生産性向上に関する打ち込みから仕上げまでの一連の取組み、コンクリート工学、Vol.55、No.9、pp.788～791、2017.9
- 4) 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、pp.1～9、2020
- 5) コンクリートライブラリー 103 コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策、土木学会、2000.7

ひとこと

今回は作業タイミングに注目した検討を行った。その他の要因（使用材料や調合）が仕上がりに作業時間に及ぼす影響について、既存の知見を活用しながら検討を続けたい。



伊藤秀太郎