

コンクリート直貼工法における 2-エチル-1-ヘキサノールの発生に関する実験的研究

栗木 茂^{*1}

村江 行忠^{*1} 宅間 真^{*2}
鈴木 孝彦^{*1} 田中秀二郎^{*3}
伊達倫太郎^{*3} 細谷 祐樹^{*3}

概 要

スラブコンクリートに直接タイルカーペットを直貼施工した場合、タイルカーペットの塩ビバック材に含まれている可塑剤（DOP）とコンクリート中のアルカリ水分との反応（加水分解）により2-エチル-1-ヘキサノール（以下2E1H）が発生する。本報ではコンクリートの含水率に着目した試験体を用いて、コンクリート含水率と2E1H発生量の関係を検証する実験を行うとともに、発生後対策の検証を行った。その後、実大試験室を構築し、2E1H発生量の経時変化と官能評価についての実験を行った。

実験により以下の知見を得た。

- 1) コンクリート中の水分が多ければスラブ工法にかかわらず2E1Hが発生する。
- 2) コンクリート中の水分が少なければ2E1H発生量が少なくなる可能性がある。
- 3) 2E1H発生量は温度が高い時期に多く、温度が低下すると減少する。
- 4) 2E1H濃度と人の感覚には差がある。
- 5) 2E1Hが発生したコンクリート下地への対策は研磨や下地補修材では不十分で、フィルム貼りが有効である。

Study on Emission of 2E1H from Carpet Tile over Concrete

Shigeru KURIKI^{*1} Yukitada MURAE^{*1}
Makoto TAKUMA^{*2} Takahiko SUZUKI^{*1}
Shujiro TANAKA^{*3} Rintaro DATE^{*3}
Yuki HOSOYA^{*3}

When carpet tile (TCP) is put directly up slab concrete, the examples are reported that emission of 2-Ethyl-1-hexanol (2E1H) by reaction of the plasticizer (DOP) included in PVC backing materials of TCP and water with high pH in concrete. This paper is the outline of experimental study on water content and 2E1H emission with model concrete slab, on change of 2E1H emission and sensuality evaluation at real size test room.

The following results are obtained from the experimental study

- 1) 2E1H emission occur under more moisture in the concrete slab regardless of the method.
- 2) The less moisture in the concrete, could amount generated less 2E1H emission.
- 3) The time when temperature is high has much 2E1H emission, when temperature decreases, 2E1H emission decreases.
- 4) There is a difference in 2E1H density and the sense of the person.
- 5) The measures to the 2E1H emission concrete, polishing and repair materials on the concrete is insufficient, bonding film is effective.

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 建築工事技術部 ^{*3} 東リ（株）

^{*1} Technical Research Institute ^{*2} Architectural Engineering Department ^{*3} TOLI Corporation

コンクリート直貼工法における 2-エチル-1-ヘキサノールの発生に関する実験的研究

栗木 茂^{*1} 村江 行忠^{*1}
 宅間 真^{*2} 鈴木 孝彦^{*1}
 田中秀二郎^{*3} 伊達倫太郎^{*3}
 細谷 祐樹^{*3}

1. はじめに

スラブコンクリートにタイルカーペット（以下TCP）を直貼施工した場合、TCPの塩ビバック材（裏面の樹脂）に含まれている可塑剤（DOP）とコンクリート中のアルカリ水分との反応（加水分解）により2-エチル-1-ヘキサノール（以下2E1H）が発生する事例が報告されている^{1,2)}。また、下地材の含水率が高い場合に2E1Hの放散量が増加し、ある程度の時間が経過した後に臭気として認知されることが報告されている³⁾。しかし、同じ条件で施工しても必ずしも2E1Hが発生するとは限らない。

そこで、コンクリートの含水率に着目した試験体を用いて、コンクリート含水率と2E1H発生量の関係を検証する実験を行うとともに、発生後対策の検証を行った。その後、実大試験室を構築し、2E1H発生量の経時変化と官能評価についての実験を行ったので報告する。

2. モデル試験体を用いた実験

2.1 実験の概要

コンクリート打設直後に乾燥過程が異なると想定できるデッキスラブと在来スラブを模した試験体を用いた実験1と、打設後日数が経ちコンクリートが乾燥していると考えられる試験体を用いた実験2の2種類を行った。

表-1に実験1の試験体概要、表-2に養生・工程概要を示す。モデルコンクリートスラブはステンレス容器（φ300×200）に普通コンクリートを150mm打設し、表-2に示す養生後7日目にTCP従来品（東リ製/GA-100）を施工した。在来スラブを模した試験体は、容器底面を切断し型枠を設置してコンクリート打設後5日目に脱型した。2E1Hの発生を促進させるためにコンクリートの水分が十分に乾燥しない状態でTCPを施工し、100℃にした恒温槽に1日入れた後40℃にて促進を行った。比較用として、接着剤の塗布なしでTCPを施工した試験体c、およびコンクリートのままTCPなしの試験体dを20℃ 65% RHの恒温槽で養生した。2E1Hの測定方法として、容器内部にパッシブサンプラー（柴田科学製/パッシブガスタンブ）を設置・密閉し、24時間拡散サンプリングを行った。重量より含水率を算定したものと、高周波容量式コンクリート・モルタル水分計（ケット科学研究所製/HI-500）による表面水分率を測定した。なお、含水率には結合水と自由水を含み、表面水分率はモード4（コンクリート）で測定した。

2.2 コンクリート含水率と2E1H発生量の推移

図-2に含水率、図-3に表面水分率の経時変化を示す。含水率は試験体bのみが大きく減少しており、下面から乾燥が進んでいるものと考えられる。一方、試験体aは下側がステンレス容器、上側がTCPで蓋をされた形となり含水率の変化が少ない。しかし、表面水分率は、工法による明確な違いはなく同様に減少していた。これは内部に水分率の分布が想定される⁴⁾にもかかわらず、コンクリート・モルタル水分計ではコンクリート表面のみを測定しているためと考えられる。また、比較用の試験体dは、促進をしていないため含水率の低下は小さいが、表面水分率では最も低下している。これは、TCPがないため水分が蒸発し乾燥が進んでいるためと考えられる。図-4に2E1H捕集量の経時変化を示す。試験体aと試験体bとの比較において捕集量に差がない結果となった。これは、2E1Hを発生させるために高含水率での実験としたことで、表面水分率では大きな差はなく、2E1H捕集量にも明確な差が出なかったと推測される。

実験2の試験概要を表-3に示す。コンクリートが十分に乾燥していると考えられるコンクリート打設後270日の試験体e、f、gにTCPを施工し、その後、2E1Hの発生促進のため、設定温度を60℃として養生した。結果を図-5、6に示す。表面水分率及び含水

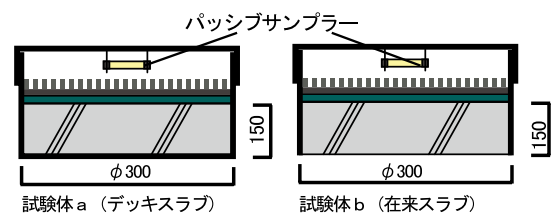


図-1 コンクリート試験体形状

表-1 実験1 試験体概要

試験体	想定工法	形状	底	TCP	接着	蓋
a-1,2	デッキスラブ	φ300 × H150	有	有	有	有
b-1,2	在来スラブ		無	有	有	有
c-1	デッキスラブ		有	有	無	21日まで有
d-1	デッキスラブ		有	無	-	その後開放

表-2 実験1 養生・工程概要

試験体	養生	脱型	TCP 施工	促進温度
a-1,2	20℃ 85% RH	-	7日目	7日目 100℃
b-1,2		5日目		8日目から 40℃
c-1		-		20℃ 65% RH
d-1		-		

*1 技術研究所 *2 建築工事技術部 *3 東リ (株)

率が最も低い試験体eの2E1H捕集量が最も少なかった。しかし、表面含水率に差がある試験体f、gの2E1H捕集量に差はなかった。これは、コンクリート含水率には差がなかったため、捕集量に差が出なかったためと推測される。また、TCP施工後含水率は低下しているが、表面水分率はいずれも一度上昇しその後低下している。これは、コンクリート中の水分がTCPの施工により均一に分布し、一時表面水分率の数値が上がったためと考えられる。

3. 2E1H発生後対策に関する実験

3.1 実験の概要

上記実験により2E1Hが発生した試験体を使用し、2E1Hの発生を抑える対策として、case Iコンクリートの表面を研磨（5mm程度）、case II下地補修材（東リ製/スムーブレバラー）による薄塗り、case III防水フィルム貼り（ポリプロピレン100%、0.02mm）、case IV表面研磨をした下地を開放する、の4つの方法を試行した。

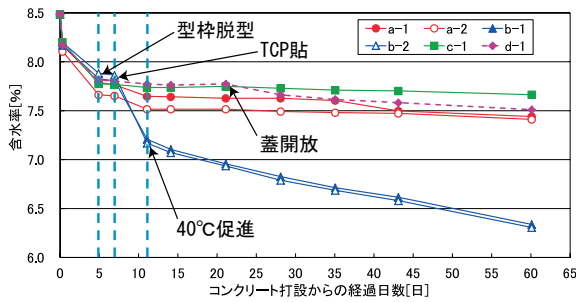


図-2 コンクリート含水率の経時変化

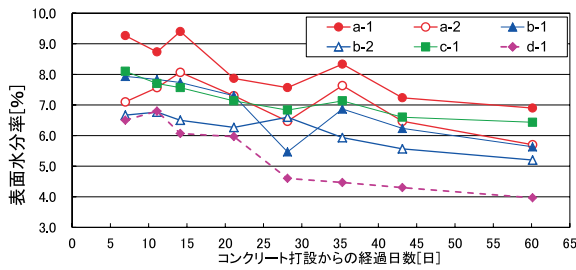


図-3 実験1 表面水分率の経時変化

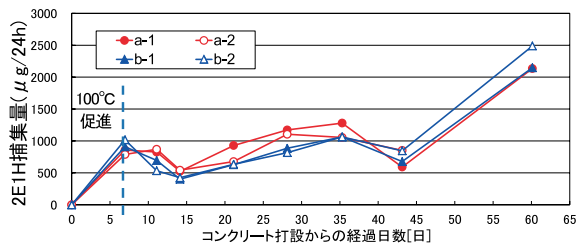


図-4 実験1 2E1H捕集量の経時変化

表-3 実験2 試験概要

試験体	打設後	形状	表面水分率 [%]	蓋	促進温度
e	270日	φ300 × H150	3.1	有	60°C
f			4.0		
g			5.2		

3.2 発生後の対策比較

表-4に対策前後の2E1H捕集量の比較を示す。case Iでは、コンクリートの表面の研磨を行っても、2E1Hの発生量は低減するが、2E1Hは検出された。官能評価では、コンクリートにおいてか感じなかったが、コンクリートに含浸していた2E1Hによるものと考えられる。case IIにおいて、捕集量は少なく、官能評価は下地補修材自体のにおいが強く評価できなかったが、2E1H低減効果は期待できない。case IIIでは、2E1Hが検出されず官能評価でも臭気がなく、フィルム貼りの効果が確認できた。case IVでは、2E1Hは検出されず、官能でもにおいがなかった。

4. 実大実験室

4.1 実験の概要

試験室の概要を図-7、実験概要を表-5に示す。建屋の中に部屋を4室つくり、コンクリートをex1は150mm、ex2は110mmかさ上げした。土間は下部からの乾燥防止のため防湿シートを敷いた。壁、天井はクロス貼りとした。TCPの施工は、ex1において、

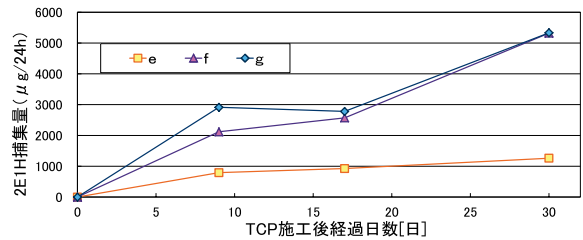


図-5 実験2 乾燥した試験体からの2E1H捕集量

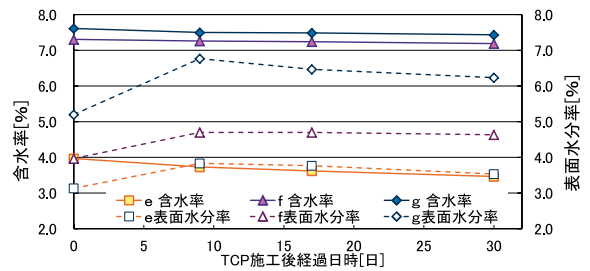


図-6 実験2 含水率と表面水分率の経時変化

表-4 対策前後の2E1H捕集量の比較

対策 case	対 策	2E1H 捕集量 [μg/24h]	
		対策前	対策後 (対策後日数)
I - ①	表面の研磨 (約5mm)	657	405 (17)
I - ②		2694	463 (15)
I - ③		3026	294 (15)
II - ①	表面研磨した下地に下地補修材塗布	77	102 (7)
II - ②	残接着剤の上下地補修材塗布	2244	1063 (6)
III - ①	残接着剤の上フィルム貼	1284	未検出 (6)
IV - ①	表面研磨した下地を開放 (40°C・35日)	1109	未検出 (35)
IV - ②	表面研磨した下地を開放 (40°C・21日)	294	未検出 (21)
IV - ③		405	未検出 (21)

Room A は高含水率の状態での 2EtH 発生状況を確認するためコンクリート打設 12 日後に、その他の部屋は 33 日後に実施した。ex2 はいずれの部屋ともコンクリート打設 14 日後に TCP を施工した。実験期間の 4 部屋の平均温湿度経時変化を図-8 および図-11 に示す。試験室（各部屋）の換気は 0.5 回換気/h の第 3 種換気とし、24 時間空調された空気を計測エリアから下部換気口を介して給気するものとした。2EtH の測定方法は、測定日の朝 30 分換気を行い、5 時間閉鎖、Tenax TA 管にて 5L サンプルングを行った。表面水分率は高周波容量式コンクリート・モルタル水分計によるモード 4（コンクリート）にて測定した。臭気官能評価に関しては、二人から六人による平均値とした。

実験に使用した TCP の種類を表-6 に示す。不織布バックとは、コンクリートと TCP 裏面の塩ビバックキング材とを絶縁するために、不織布を貼り付けたものである。リサイクルバックとは、バックキングに再生塩ビ樹脂等を混ぜたもので、従来品と比べて再生塩ビ樹脂等の混ぜ方により 2EtH の発生量が少ないと考え

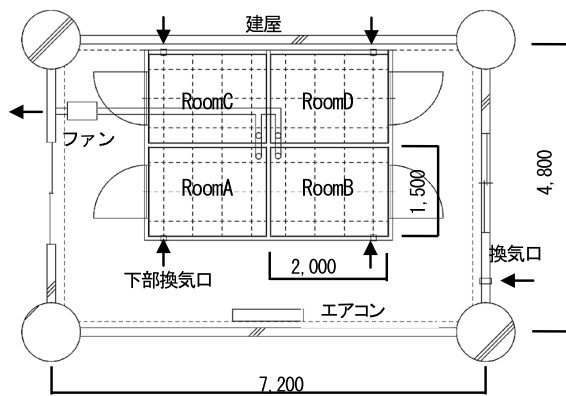


図-7 試験室概要

表-5 実験概要

	期 間	部屋広さ	天井高	コンクリート厚
ex1	2006 年 11 月～ 2009 年 2 月	2m × 1.5m	2.2m	150mm
ex2	2010 年 1 月～ 2011 年 3 月		2.09m	110mm

表-6 実験で使用した TCP

ex1	TCP 種類	ex2	TCP 種類
Room A	不織布バック	Room A	不織布バック
Room B	不織布バック	Room B	リサイクルバック
Room C	リサイクルバック	Room C	従来品
Room D	従来品 (GA-100)	Room D	従来品 (フィルム貼)

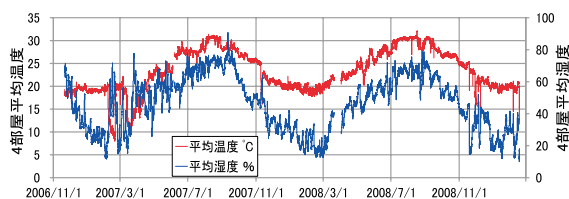


図-8 ex1 4 部屋平均温湿度経時変化

られることから比較対象とした。ex2 の Room D のフィルム貼りは、2EtH 発生対策にて有効であることが確認された方法であり、含水率が高い状態のコンクリートと TCP を絶縁する方法として用いられることを想定した。

4.2 表面水分率経時変化

図-9 に ex1、図-12 に ex2 の表面水分率の経時変化を示す。ex1,2 ともに、TCP 施工前のコンクリートが露出した状態では表面水分率が次第に低下し、TCP 施工直後に表面水分率の数値が高くなった。これは前述 2. の実験 2 で確認したように、TCP 施工前のコンクリートは表面から乾燥するが、TCP の施工により内部の水分が均一化され表面水分率が高くなったためと考えられる。

4.3 2EtH 濃度の経時変化

図-10 に ex1、図-13 に ex2 の 2EtH 濃度の経時変化を示す (ex1 の初期、ex2 Room B の 1 月はデータ欠測)。ex1,2 ともに、従来品 (ex1 Room D, ex2 Room C) の 2EtH 濃度が高かった。また、季節とし

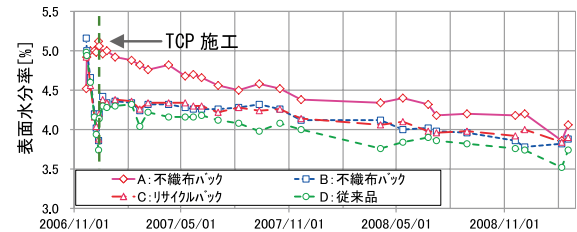


図-9 ex1 コンクリート・モルタル水分計による表面水分率

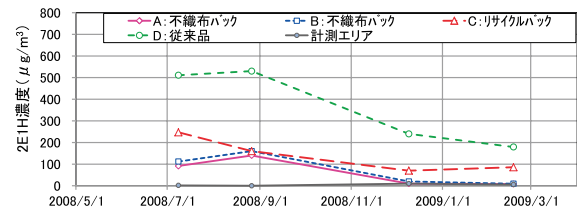


図-10 ex1 2EtH 濃度経時変化

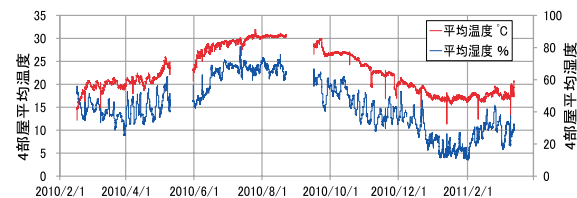


図-11 ex2 4 部屋平均温湿度経時変化

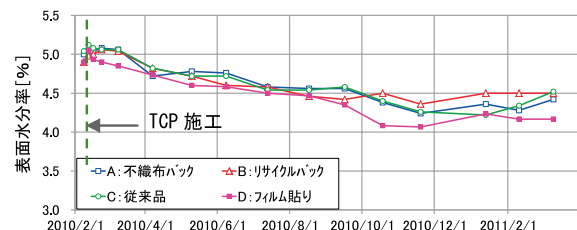


図-12 ex2 コンクリート・モルタル水分計による表面水分率

ては夏期の濃度が最も高く、冬期に2E1H濃度が急激に低下した。これは2E1H発生量が温度に依存しているためと考えられる。ただし、ex2において室温が最も高い8月にRoom BとRoom Cの濃度が下がっている原因は特定できなかった。また、2E1H濃度は室温が下がっているにもかかわらずすぐに低下していないのは、加水分解による2E1H放散量はある程度時間が経過した後に増加する³⁾との報告もあることから、2E1H濃度のピークが遅くなったためと考えられる。

不織布バックの2E1H濃度はほとんど増加せず、従来品の1/3～1/7程度に抑えられた。また、高含水率の状態を想定したex1のroom Aにおいても濃度は低かった。リサイクルバックは従来品と比べると2E1H濃度が少なかった。フィルム貼りは、計測エリアに近い濃度を示しており2E1Hの発生を抑制できたものと考えられる。

4.4 官能評価

ex2において、表-7の評価基準⁵⁾に基づいて2E1H臭について官能評価を行った。評価は、各室の空気、TCP裏、コンクリート表面について行い、結果を図-14から16に示す。試験室の臭気強度が最も強いのは2E1H濃度が高いRoom Cで、TCP施工後12週後の5月が最も臭気強い結果となった。しかし、図-13より2E1H濃度は5月以降も増加しており、2E1H濃度が高いほど臭気強いという結果は得られなかった。今回の官能評価は、この実験の関係者にて行い、人数も少ないため評価に偏りがあったと考えられるが、2E1H濃度と官能評価結果に相関性はみられ

なかった。TCP裏やコンクリート面の臭気評価について、Room BとCは、試験室の空気より臭気強度が強い結果となり、冬期の2E1H濃度が低い状態においても「楽に感知できる」ことから、室温が低い冬期でも加水分解が進んでいることが確認できた。Room AとDは、2E1H濃度が低く、官能評価も「やっと感知できる」結果であった。

5. おわりに

実験により以下の知見を得た。①コンクリート中の水分が多ければスラブ工法にかかわらず2E1Hが発生する。②水分が少なれば発生量が少なくなる可能性がある。③2E1H発生量は温度が高い時期に多く、温度が低下すると減少する。④2E1H濃度と人の感覚には差がある。

2E1H発生への対策として、以下の対策が有効である。①2E1Hが発生したコンクリート下地への対策は研磨や下地補修材では不十分で、不織布バックの対策品とフィルム貼りが有効である。②研磨後開放(40℃)が実験的には有効である。

【参考文献】

- 1) 床仕上げ材から発生した異臭：クレーム(社)建築業協会施工部会[編]、井上書院 P100-101
- 2) 上島道浩、柴田英治、酒井 潔、大野浩之、那須民江：ビル建築の空气中2-エチル 1-ヘキサノールの発生源に関する検討 平成15年度 室内環境学会総会 講演集 160-163 (2003)
- 3) 横田知博、千野聡子、加藤信介、村上周三、安宅勇二、徐 長厚：塩化ビニル床材からの可塑剤分解物質等の放散メカニズムの解明 日本建築学会環境系論文報告集 第617号 47-52, 2007年7月
- 4) 橋田 浩、田中亨二、小池迪夫：打設直後からの乾燥途中におけるコンクリートの含水状態、日本建築学会構造系論文報告集 第412号 1-8, 1990年6月
- 5) 臭気の嗅覚測定法 岩崎好陽 臭気対策研究協会

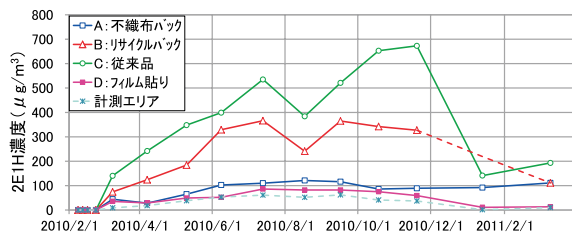


図-13 ex2 2E1H濃度経時変化

表-7 2E1H臭気官能評価基準

0：無臭	3：楽に感知できるにおい
1：やっと感知できるにおい	4：強いにおい
2：弱いにおい	5：強烈なにおい

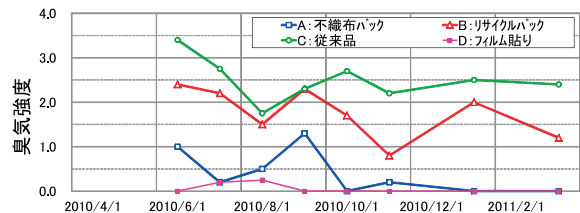


図-15 ex2 TCP裏官能臭気強度

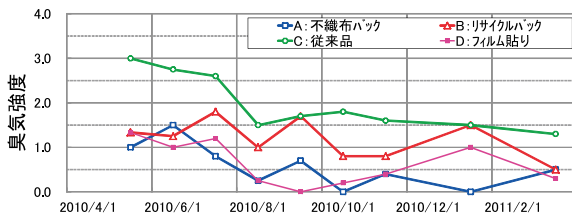


図-14 ex2 試験室官能臭気強度

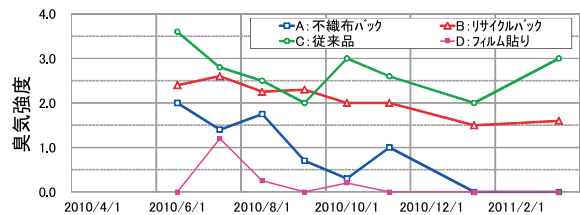


図-16 ex2 コンクリート面官能臭気強度

