

表面締固めバイブレータの品質向上効果とそのメカニズム

Concrete Quality Improvement Effect of Surface Compaction Vibrator and Its Mechanism

川崎 文義 関 健吾 林 大介 曾我部 直樹
佐野 雄紀 片村 立太 露 木 健一郎 横 関 康祐

要 約

コンクリートの仕上げに表面締固めバイブレータを使用することにより、表層品質が向上することが報告されているものの、品質向上のメカニズムや施工条件の影響は明らかとなっていない。そこで、室内試験にて品質向上メカニズムを検討した結果、表面締固めバイブレータを使用することにより、コンクリート表層部の気泡組織が改善されることで反発度、透気係数が向上することが明らかとなった。また、施工時の環境条件、施工条件及びコンクリートの配合を要因として品質向上効果を評価した結果、品質向上効果は施工時の外気温及び施工速度の影響を受けることが明らかとなった。さらに、ブリーディングの少ない配合では、通常の配合と比較してその効果が若干小さくなるものの、表面気泡低減など品質向上効果があることが分かった。

目 次

- I. はじめに
- II. 表面締固めバイブレータについて
- III. 室内試験による品質向上メカニズムの考察
- IV. 各種条件が品質向上効果に与える影響の評価
- V. 動画による施工管理手法
- VI. おわりに

I. はじめに

コンクリート構造物の耐久性向上には、凍害やすり減り作用などの外的劣化の影響を受けたり、塩分や二酸化炭素などの劣化因子の侵入経路となったりするコンクリート表層部の品質を確保・向上することが重要である。コンクリートの品質を向上させる手法は、材料による対策と施工による対策に大別されるが、後者としては、材料分離をできる限り防いで所定の位置に打ち込み、入念に締め固めたのちに十分な養生を行うことが重要である。

既往の研究では、スラブ部材を対象とした躯体表層部の品質向上手法に関し、表面締固めバイブレータの有効性が示されている^{1),2)}。しかしながら、表面締固めバイブレータの品質向上メカニズムは明らかにされていないのが現状であり、締め固め効果の影響範囲や施工条件が品質向上効果に与える影響についてもほとんど検討がなされていない。

そこで本研究では、室内試験にて表面締固めバイブレータによる品質向上メカニズムと、締め固め効果の影響範囲について考察を行った。また、環境条件や施工条件及びコンクリートの配合を要因とした試験を実施し、各種条件が品質向上効果に与える影響の評価を行

った。さらに、実施工において品質向上効果を適切かつ均一なものとするため、施工管理手法として速度検知システムを構築し、その精度の検証を行った内容について報告する。

II. 表面締固めバイブレータについて

表面締固めバイブレータの外観及び機械仕様を Photo 1 に示す。表面締固めバイブレータは、主にスラブコンクリートの仕上げにおいて、「均し」と「締め固め」を実施する施工機械である。取り付けられたエンジンによってボード部が微細に縦振動し、その振動をコンクリートの表層に伝えることで、締め固め効果が得られるものである。

表面締固めバイブレータは、Photo 1 に示すように、打込み完了後の早い段階で、1次仕上げとして使用する。スラブなど広範囲の仕上げ作業を行うコンクリート施工においては、最終層のコンクリ



Photo 1 表面締固めバイブレータの仕様及び施工手順
(Specifications and Construction Process of Surface Compaction
Vibrator)

キーワード: 表面締固めバイブレータ, 締め固め, 仕上げ, 品質向上

Keywords: surface compaction vibrator, compaction, finish, quality improvement

ートを打ち込んで棒状パイプレータによる締固めを行った後、直ちに仕上げ作業を開始し、一般に再振動を行わないことが多いのが実情である (Fig.1)。このような場合でも、表面締固めパイプレータによる1次仕上げを行うことにより、コンクリートに再振動と同様の効果を付与することができ、表層品質の向上が期待できる。

Ⅲ. 室内試験による品質向上メカニズムの考察

1. 試験条件及び試験項目

表面締固めパイプレータの有無を要因として、品質向上メカニズムと締固め効果の影響範囲について検討を行った。試験要因一覧を Table 1 に、計画配合および使用材料をそれぞれ Table 2 に示す。試験体寸法については、Case 1 (品質向上メカニズム検討) では B2.2m×W0.8m×H0.2m, Case 2 (締固め効果の影響範囲検討) では B2.2m×W0.8m×H0.8m とした。Case 2 の試験体には、コンクリートの表面から深さ方向に 100mm, 300mm, 500mm, 700mm の位置で加速度センサを設置した。試験体の製作では、コンクリートを打ち込んだ後、50cm 間隔で棒状パイプレータを挿入し、1カ所あたりの振動時間を 5 秒として締め固めた。締固め完了後は金ごてで試験体上面を均し、表面締固めパイプレータを実施するものについては、Table 1 に示す方法で施工した。仕上げは、木ごて 1 回 (打込み完了から約 1.5 時間後)、金ごて 2 回 (打込み完了から約 3.5 時間後及び 5 時間後) とした。その後は、7 日間湿潤養生を実施した。

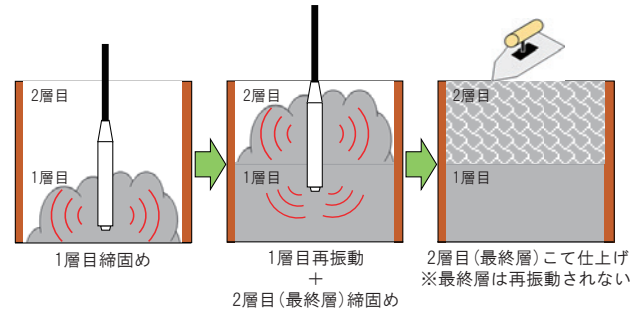


Fig.1 最終層のコンクリート締固めイメージ (Schematic Diagram of the Compaction of the Final Layer of Concrete)

試験項目を Table 3 に示す。Case 1 では、打込み完了から 1 時間毎にキッチンペーパーを用いたブリーディング量及び山中式土壌硬度計 (平型) を用いた貫入抵抗値を測定した。その後、材齢 28 日の時点でテストハンマーにて反発度を測定した。また、トレント試験機を用いて透気係数を測定した。なお、透気係数の測定時には表面水分率も併せて測定した。その後、コア (φ150mm 及び φ100mm) を採取し、Table 3 に記載した位置で気泡組織測定を実施した。Case 2 では、表面締固めパイプレータ実施時に加速度の測定を行った。

Table 1 試験要因一覧 (室内試験) (Factors in Laboratory Experiments)

Case	内容	表面締固めパイプレータ 使用の有無	環境温度 環境湿度	表面締固めパイプレータの 施工条件		
				施工時期	施工回数	施工速度
1-1	品質向上メカ ニズム検討	無し	20.0℃ 60%RH	—	—	—
1-2		有り		打込み完了から 30 分後	1 回	3m/分
2	締固め効果の 影響範囲検討	有り		打込み完了から 30 分後	1 回	3m/分

Table 2 計画配合及び使用材料 (室内試験)

(Mix Proportion and Using Materials in Laboratory Experiments)

Gmax (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					フレッシュ試験結果	
					W	C	S	G	Ad	スランプ	空気量
20	8±2.5	4.5±1.5	55.0	44.6	170	310	796	1017	3.875	9.0cm	5.0%

W: 地下水 (密度 1.00g/cm³), C: 普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³), S: 砕砂 (密度 2.62g/cm³), G: 砕石 (密度 2.70g/cm³), Ad: リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体

Table 3 試験項目 (室内試験)

(Test Items in Laboratory Experiments)

Case	試験時期	試験項目	試験方法
1-1,1-2	打込み完了から 1 時間毎	ブリーディング量	キッチンペーパー法 ³⁾ により、ブリーディング量を測定 (0.81m³を対象)
		貫入抵抗値	山中式土壌硬度計 ⁴⁾ (平型) により、貫入抵抗値を測定 (3 回の平均値)
	材齢 28 日	反発度	JSCE G504 に準拠し反発度を測定
		透気係数	トレント試験機 (ダブルチャンバー方式) を用いて測定
		気泡組織測定	採取したコア (φ150mm) のうち、上面から 45mm の位置について、ASTM C457 (リニアトラバース法) により測定
		細孔径分布測定	採取したコア (φ100mm) のうち、上面から 25~45mm の位置より試料を採取し、水銀圧入法により測定
2	表面締固めパイプ レータ実施時	加速度測定	加速度計を用いて、コンクリート中の最大加速度を測定

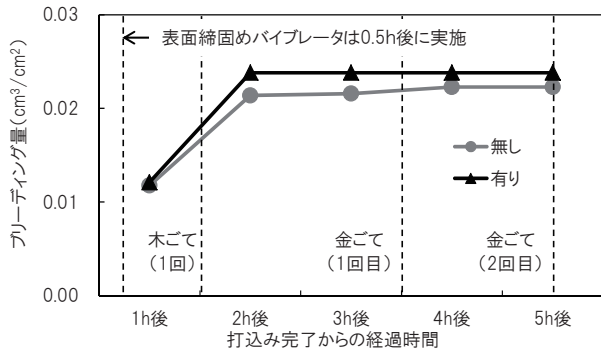


Fig.2 室内試験におけるブリーディング量の測定結果 (Bleeding Amount)

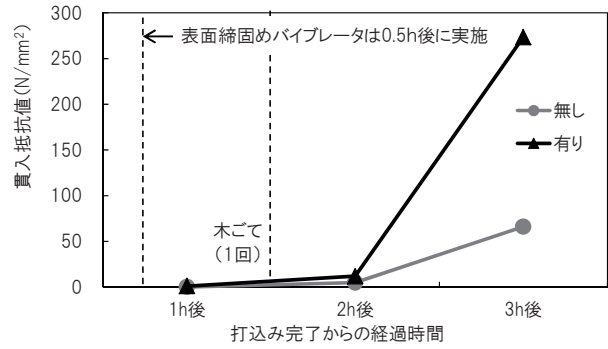


Fig.3 室内試験における貫入抵抗値の測定結果 (Penetration Resistance Value)

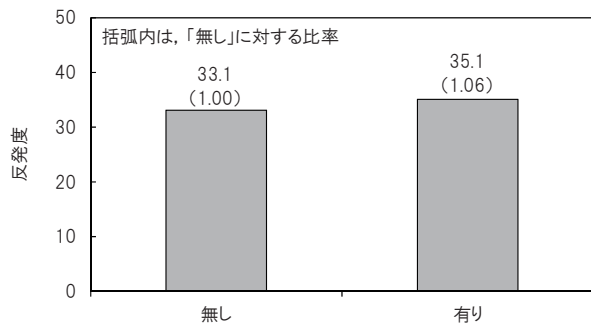


Fig.4 室内試験における反発度の測定結果 (Degree of Rebound)

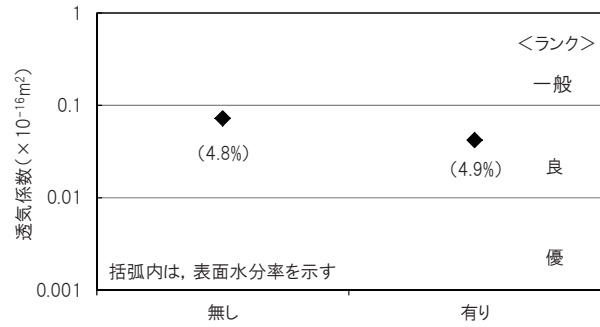


Fig.5 室内試験における透気係数の測定結果 (Air Permeability Coefficient)

2. 試験結果

(1) フレッシュ性状への影響

表面締固めバイブレータの有無が、ブリーディング量及び貫入抵抗値の経時変化に及ぼす影響を Fig.2 及び Fig.3 に示す。Fig.2 より、打込み完了から 1 時間後のブリーディング量は、表面締固めバイブレータの有無によらず同等であった。その後、2 時間後以降のブリーディング量に若干の差異が認められた。ブリーディングが終了した時間は、表面締固めバイブレータを使用した場合で 3 時間後であったのに対して、使用しなかった場合は 5 時間後であった。また、表面締固めバイブレータを用いることで累積ブリーディング量は約 7% 増加した。このことから、表面締固めバイブレータを使用することで、余剰水をより短い時間で排出できることが分かった。

貫入抵抗値は、Fig.3 に示すとおり打込み完了から 2 時間後において、表面締固めバイブレータを使用しなかった場合の 4.8N/mm² と比較して、使用した場合は 11.9N/mm² となり、約 2.5 倍となった。同様に、3 時間後ではバイブレータ不使用時 66.0N/mm²、使用時 273.5N/mm² となり、約 4 倍の貫入抵抗値となった。

(2) 反発度及び透気係数への影響

反発度と透気係数の測定結果をそれぞれ Fig.4、Fig.5 に示す。Fig.4 より、表面締固めバイブレータを使用しなかった場合と使用した場合の反発度は、それぞれ 33.1 及び 35.1 であり、使用により 6% 程度増加した。また、Fig.5 より透気係数は、それぞれ 0.0720×10⁻¹⁶m²、0.0420×10⁻¹⁶m² となり、表面締固めバイブレータ

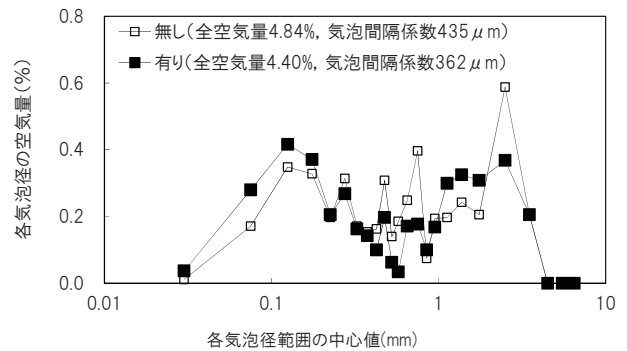


Fig.6 気泡組織の測定結果 (Air Void Distribution)

の使用によってやや改善した。この要因として、表面締固めバイブレータを使用することで、コンクリート内部の余剰水や気泡が排出され、表層部のコンクリートが緻密化したものと推察される。

(3) 気泡組織への影響

気泡組織の測定結果を Fig.6 に示す。Fig.6 より、表面締固めバイブレータを使用することで全空気量は 0.4% 程度減少した。一方、気泡分布は、表面締固めバイブレータを使用した場合、使用しなかった場合に比べて 1.0mm 前後の空気量が減少し、0.10mm 前後の空気量が増加している。その結果、気泡間隔係数は 70 μm 程度低下した。これは、表面締固めバイブレータの使用によって、エントラップトエアが排出されて粗大な気泡が減少する一方で、早期に余剰水

が排出されることでブリーディングを要因とする合泡・破泡が少なくなり、より小さい径の気泡が残存し、気泡組織が改善したものと推察される。これは、Fig.5の透気係数の改善に効果を及ぼしている可能性が高いと考えられる。既往の研究⁹⁾によると、透気係数と中性化速度には相関があることが報告されており、表面締固めパイプレータの使用による透気係数の改善 (Fig.5) によって、中性化深さ 30mm に到達する期間が 1.6 倍になると算定される。また、透気係数が小さくなると塩害に対する抵抗性が大きくなるとの報告¹⁰⁾があり、表面締固めパイプレータを使用することでこれらの耐久性が向上するものと考えられる。

(4) 細孔空隙率への影響

細孔空隙率の測定結果を Fig.7 に示す。Fig.7 より、表面締固めパイプレータの有無による細孔空隙率の差は少ないことが分かる。しかし、本試験では Fig.2 に示すとおり、表面締固めパイプレータの使用によって少量ではあるものの余剰水が排出されており、ごく表面の水セメント比が低下している可能性が高く、より表面に近い範囲では、細孔空隙率が低下していることも考えられる。

(5) 締固め効果の影響範囲について

表面締固めパイプレータ使用時のコンクリート中の加速度の測定結果を Fig.8 に示す。コンクリートに伝わる加速度は、コンクリートの表面から深くなるにつれて減衰するものの、深さ 700mm の位置で 4.6G の値を示した。既往の研究⁷⁾によると、締固めに有効な加速度は 1.5G とされている。このことから、一般にコンクリートの 1 層の打込み高さを 500mm とすると、表面締固めパイプレータを使用することで、最終層のコンクリート全体に締固め効果が得られるものと考えられる。

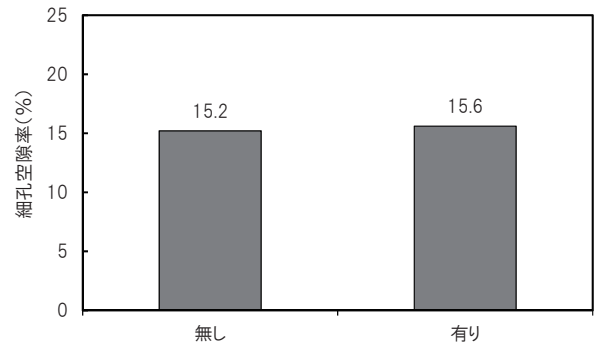


Fig.7 空隙率の測定結果 (Pore Porosity)

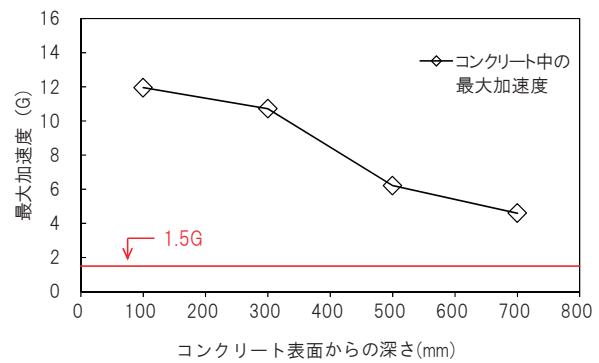


Fig.8 深さ方向の振動伝達範囲

(Vibration Transmission Range in the Depth Direction)

IV. 各種条件が品質向上効果に与える影響の評価

1. 試験要因と試験項目

(1) 試験要因

Table 4 に試験要因を示す。施工条件として、Case 1 は打込み時期による影響を評価するため、秋期 (11/12, 日平均気温 9.1℃)、冬期 (2/18, 日平均気温 2.9℃) 及び夏期 (6/4, 日平均気温 23.7℃) にそれぞれ 1 回ずつ、計 3 回の施工を実施した。Case 2 では、表面締固めパイプレータの施工速度を要因とし、施工実績を基に標準的な速度として設定した 3m/分と、施工速度が著しく大きくなった場合を想定した 12m/分を水準としてその影響を評価した。また、コンクリート配合の影響を評価するために、Case 3 では、早強ポルトランドセメントを用いた単位セメント量が多く (400kg/m³以上)、ブリーディングの少ない高強度コンクリートに対して施工を行った。一方、Case 4 では、高流動コンクリートを対象に、表面締固めパイプレータの使用による品質向上効果について検討した。なお、比較

のため、いずれの試験ケースにおいても、表面締固めパイプレータを施工せず、通常どおりの木ごてによる仕上げを行う箇所を設けた。表面締固めパイプレータあるいは木ごてによる仕上げを行った後は、金ごてによる仕上げを 2 回実施した。

試験の対象とした部材 (供試体) については、Case 1 及び Case 2 では、実構造物である U 型擁壁の底版スラブ (幅 27.8m, 長さ 20.0m, 厚さ 2.4m) とボックスカルバートの頂版スラブ (幅 27.3m, 長さ 12.0m, 厚さ 1.0m) とした。Case 3 では橋梁床版を模擬した実規模試験体 (幅 4.0m, 長さ 2.0m, 厚さ 0.26m) とし、Case 4 はスラブ状の供試体 (幅 0.1m, 長さ 2.0m, 厚さ 0.1m) を用いて施工を行った。Table 5~7 に各試験ケースにおけるコンクリートの計画配合と使用材料を示す。全ての試験ケースにおいて、打込み翌日に養生マットを用いて湿潤養生を行った。なお、いずれの試験ケースでも打込み翌日及び材齢 28 日においてひび割れの発生は確認されなかった。

Table 4 試験要因一覧 (Factors List)

Case	要因	水準
1	施工条件の影響	施工時期 (外気温)
2		施工速度
3	配合の影響	高強度コンクリート
4		高流動コンクリート

Table 5 計画配合及び使用材料（普通コンクリート）
(Mix Proportion and Using Materials for Normal Concrete)

Case	配合名 (施工時期)	Gmax (mm)	目標スランプ ⁺ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
							W	C1	C2	S	G	Ad1	Ad2
1,2	27-8-20BB(秋期)	20	8±2.5	4.5±1.5	54.5	44.7	159	292	—	822	1053	2.92	—
	27-8-20MKC (冬期, 夏期)				54.5	44.9	159	—	293	816	1037	—	3.75

W：地下水（密度 1.00g/cm³），C1：高炉セメント B 種（密度 3.04g/cm³），C2：低発熱・収縮抑制型高炉セメント（密度 2.98g/cm³），S：砕砂（密度 2.61g/cm³），G：碎石（密度 2.70g/cm³），Ad1：リグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩，Ad2：リグニンスルホン酸塩，オキシカルボン酸塩とポリカルボン酸系化合物

Table 6 計画配合及び使用材料（高強度コンクリート）
(Mix Proportion and Using Materials for High Strength Concrete)

Case	配合名	Gmax (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
							W	C	S1	S2	G	Ad
3	40-12-20H	20	12±2.5	4.5±1.5	39.5	39.5	160	405	348	348	1090	3.24

W：地下水（密度 1.00g/cm³），C：早強ポルトランドセメント（密度 3.14g/cm³），S1：砕砂（密度 2.67g/cm³），S2：山砂（密度 2.62 g/cm³），G：碎石（密度 2.71g/cm³），AD：ポリカルボン酸化合物

Table 7 計画配合及び使用材料（高流動コンクリート）
(Mix Proportion and Using Materials for Self-Compacting Concrete)

Case	Gmax	目標スランプ ⁺ フロー (cm)	目標空気量 (%)	W/B (%)	単位量(kg/m ³)							
					W	LPC	FA	LEX	LP	S	G	SP
4	20	65±5	2.5±1.5	45	160	229	107	20	178	884	780	5.02

W：地下水（密度 1.00kg/cm³），LPC：低熱ポルトランドセメント（密度 3.22kg/cm³），FA：フライアッシュ II 種（密度 2.24g/cm³），LEX：改良型石灰系膨張材（密度 2.70g/cm³），LP：石灰石微粉末（密度 2.70g/cm³），S：砕砂（密度 2.66 g/cm³），G：碎石（密度 2.70g/cm³），SP：カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物

Table 8 試験項目
(Test Items)

Case	試験時期	試験項目	試験方法
1,2,3	材齢 28 日	反発度	JSCE G504 に準拠し反発度を測定
		透気係数	トレント試験機（ダブルチャンバー方式）を用いて測定
4	材齢 28 日	表面気泡数	1 側面（1.0×0.1m ² ）あたりの表面気泡数（個）を測定
		細孔空隙率	採取したコア（φ100mm）のうち、上面から 10mm の位置より試料を採取し、水銀圧入法により測定

（2）試験項目

試験項目を Table 8 に示す。いずれのケースについても材齢 28 日において測定を行った。Case 1～3 ではスラブ表面に対して反発度と透気係数を測定した。透気係数の測定時には表面水分率も併せて測定した。Case 4 では供試体 1 側面(1.0×0.1m²)あたりの表面気泡数と細孔空隙率を測定した。

2. 施工条件が硬化体の品質に及ぼす影響の評価⁸⁾

表面締固めパイプレータの有無と反発度の関係を Fig.9 に示す。表面締固めパイプレータの使用により、反発度は 1.01~1.16 倍となり、使用しなかった場合と比べて品質が向上することが分かった。施工時期における反発度の向上効果を比較すると、秋期と冬期がそれぞれ 1.16 倍と 1.10 倍であるのに対し、夏期では 1.04 倍の向上に留まっている。また、施工速度の影響については、12m/分で施工した場合の反発度は、3m/分で施工した場合より向上効果が小さく、表面締固めパイプレータを使用しなかった場合とほぼ同等の値であ

った。

次に、表面締固めパイプレータの有無と透気係数の関係を Fig.10 に示す。いずれの試験においても表面締固めパイプレータを使用することで透気係数は改善された。施工時期の影響については、反発度の測定結果と同様に、秋期及び冬期は 1 オーダー改善したのに対して、夏季ではその効果が比較的小さくなった。また、施工速度の影響については、12m/分で施工した場合では、表面締固めパイプレータを使用しなかった場合と同等の透気係数となった。

これらのことから、表面締固めパイプレータを使用することでコンクリートの表層品質は向上するものの、その効果については施工時期（外気温）の影響を受けることが考えられる。また、施工速度が著しく大きくなると、品質向上効果があまり得られないことが分かった。これは、通常の内部振動機と同様に、締固め時間が短すぎると締固め効果が得られなくなることを示唆しているものと考えられる。

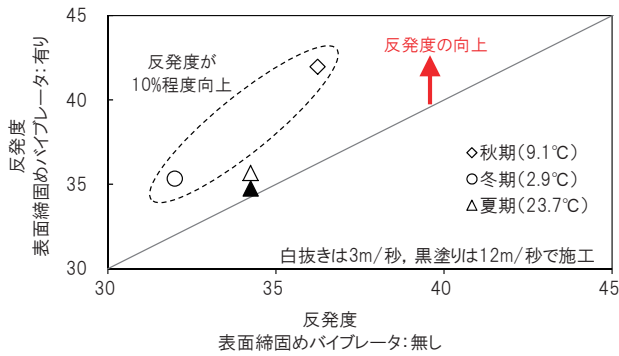


Fig.9 施工時期及び速度が反発度に及ぼす影響 (普通コンクリート)
(Effects of the Season and Speed on the Degree of Rebound for Normal Concrete)

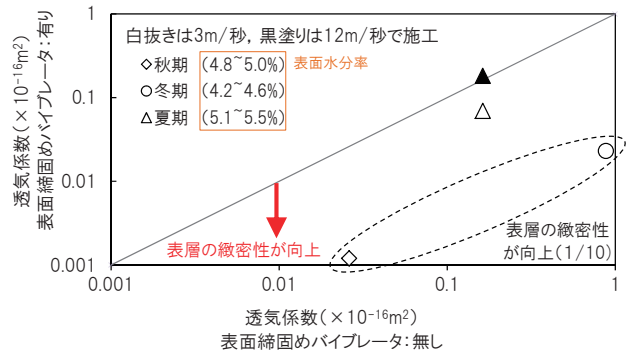


Fig.10 施工時期及び速度が透気係数に及ぼす影響 (普通コンクリート)
(Effects of the Season and Speed on the Air Permeability Coefficient for Normal Concrete)

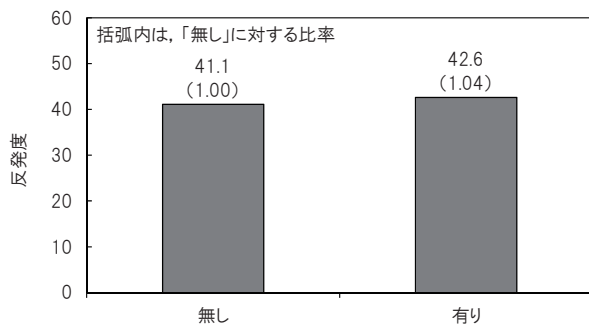


Fig.11 反発度への影響 (高強度コンクリート)
(Effect on the Degree of Rebound of High Strength Concrete)

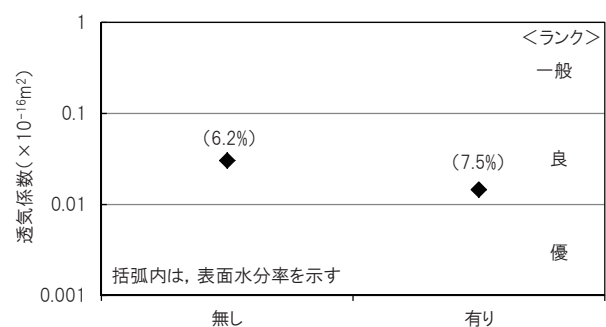


Fig.12 透気係数への影響 (高強度コンクリート)
(Effect on the Air Permeability Coefficient of High Strength Concrete)

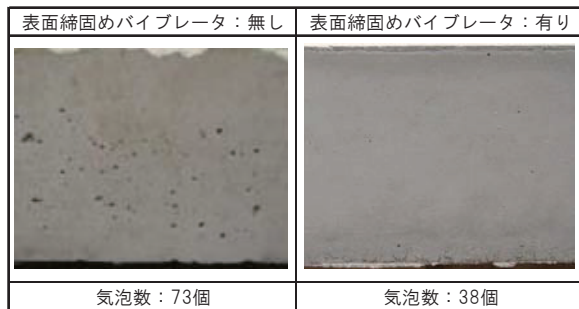


Photo 2 供試体側面の外観と表面気泡数 (高流動コンクリート)
(Appearance and the Number of Air Void on Self-Compacting Concrete)

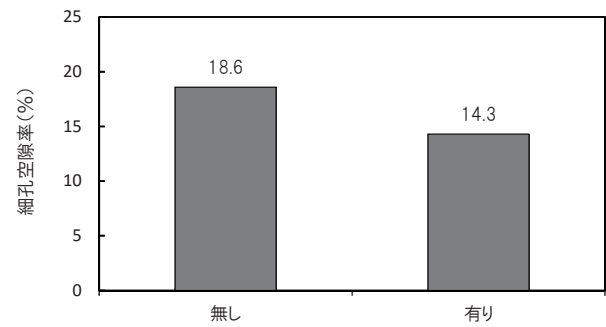


Fig.13 細孔空隙率の測定結果 (高流動コンクリート)
(Pore Porosity of Self-Compacting Concrete)

3. コンクリート配合が硬化体の品質に及ぼす影響の評価

(1) 高強度コンクリートに対する検討⁹⁾

反発度と透気係数の測定結果をそれぞれ Fig.11, Fig.12 に示す。Fig.11 より、反発度は表面締固めパイプレタを実施しなかった場合と使用した場合で、それぞれ 41.1 及び 42.6 となり、1.04 倍となった。同様に Fig.12 より、透気係数はそれぞれ $0.0303 \times 10^{-16} \text{m}^2$ から $0.0145 \times 10^{-16} \text{m}^2$ となり、表面締固めパイプレタを実施することで改善した。ここで、品質向上の程度について前述の Case 1 と比較すると、高強度コンクリートに対して表面締固めパイプレタを施工した場合の品質向上効果は、Case 1 の秋期及び冬期より小さく、

夏期と同程度の結果となっている。この要因として、表面締固めパイプレタは、エントラップトエアや余剰水を排出してコンクリートの品質を向上させるものであるが、ブリーディングの少ない配合や夏期の施工では、余剰水の排出量が少なかったと考えられ、その結果、コンクリートの品質は若干向上する程度に留まったものと推察される。

(2) 高流動コンクリートに対する検討¹⁰⁾

Photo 2 に、硬化後の試験体側面の外観と表面気泡数を示す。表面締固めパイプレタを使用しない場合に比べて使用した場合は、試験体側面の表面気泡数が減少している。これは、表面締固めパイ

ブレータの使用によって、エントラップトエアが排出されたものと考えられる。高流動コンクリート指針Ⅳでも、高流動コンクリートの最終均し時にたたきなどを併用して打ち込むと、気泡の低減に効果的であることが示されており、本試験結果はこれと一致する。また、空隙率の測定結果を Fig.13 に示す。表面締めパイブレータを使用した場合は、空隙率が 4%程度小さくなることが確認された。これらのことから、高流動コンクリートに対して表面締めパイブレータを使用することで、表面気泡が少なくなるとともに、コンクリート表層の細孔空隙率が低下することで耐久性が向上する可能性が示唆された。

V. 動画による施工管理手法

1. 速度検知システムの概要と検知精度の検証試験概要

(1) システム構成と概要

前述の試験結果より、表面締めパイブレータを用いて適切な品質向上効果を得るためには、適切な施工速度で使用することが重要であることが分かった。そこで、施工速度を検知できる施工管理システムを構築した。

施工速度を検知するには、表面締めパイブレータの位置を把握する必要がある。位置情報を検出する方法には GPS など様々な手法があるが、本研究ではシステムの低コスト化や汎用性を考慮し、ビデオカメラ 1 台のみによる手法を採用した。

システムの構成を Fig.14 に示す。位置検出の方法は、作業エリアの四隅及び表面締めパイブレータ上に配置した位置検出用マークをビデオカメラで撮影し、それをプログラムが認識することによって表面締めパイブレータの施工速度をその場で把握する。決められた施工速度の範囲を逸脱すると、バトランプ及び警報音で作業者に知らせることで適切な施工速度を保持できる。また、表面締めパイブレータの柄の部分に速度ゲージを取り付けることで、作業者自身も施工速度を把握できるようにした。位置検出用マーク及び速度ゲージの設置状況を Photo 3 に示す。

(2) 検証試験概要

本施工管理システムを用いた表面締めパイブレータの施工速度の検知精度について、実構造物での施工を対象とした検証試験を実施した。試験は、施工管理システムで検知した施工速度と、移動距離と時間から求まる平均速度を実測値として比較することで、検知精度を検証した。対象構造物は、施工面積が 10m×10m のスラブ部材とした。施工管理システム用のビデオカメラを、実験エリア端部から水平距離 8m、鉛直高さ 2m の位置に設置し、施工状況の撮影を行った。また、ビデオカメラの設置位置が検知精度に及ぼす影響を評価するために、水平距離 20m、鉛直高さ 1.5m の位置にもビデオカメラを設置した。なお、ビデオカメラの撮影方向は、前者は表面締めパイブレータの進行方向に対して垂直とし、後者は水平方向とした。ビデオカメラの設置位置を Fig.15 に示す。

2. 施工管理システムを用いた速度検知精度の評価

施工速度の実測値は、2.5cm/秒であった。水平距離 8m の位置に設置したビデオカメラで撮影した場合の平均速度は、2.4 cm/秒となり、実測値と概ね一致した。水平距離 20m の位置に設置したビデオカメラを使用した場合は、2.0cm/秒となり、実測値より小さい結果となった。検知精度に差が生じた要因として、作業エリアとビデオ

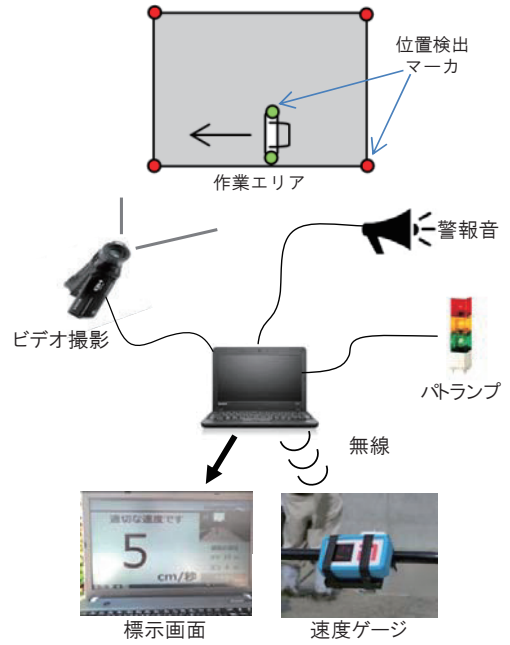


Fig.14 施工管理システムの構成
(The Configuration of the Speed Management System for Surface Compaction Vibrator)



Photo 3 位置検出用マーク及び速度ゲージの設置状況
(Installation Situation of Markers and Speedometer for the System)

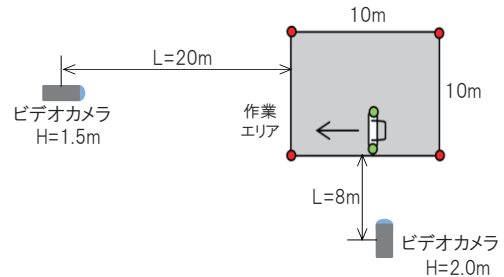


Fig.15 ビデオカメラの設置位置
(Position of the Video Camera)

カメラとの距離が遠いことと、ビデオカメラの向きが表面締めパイブレータの進行と水平であるため、ビデオカメラの画面上において表面締めパイブレータが上下に動くことにより、画面上の動き

が相対的に小さくなったことが考えられる。

これらのことから、ビデオカメラを適正に配置した速度検知システムによって、表面締固めバイブレータの施工速度を概ね精度良く把握することができることが分かった。また、その精度については、ビデオカメラの設置位置（作業エリアからの距離）や撮影方向の影響を受けることが分かった。

VI. おわりに

本研究の範囲において、以下の知見を得た。

- ① 表面締固めバイブレータを使用することで、フレッシュコンクリート時にエントラップトエアと余剰水が排出される。
- ② 表面締固めバイブレータを使用すると、使用しなかったものに比べて硬化コンクリートの反発度と透気係数が向上する。
- ③ 表面締固めバイブレータを使用することで、空気量は低減するものの、気泡組織は 1.0mm 前後の粗大な気泡が減少し、0.10mm 前後の小径の気泡が増加することによって改善され、中性化や塩害に対する抵抗性は向上すると考えられる。
- ④ 締固めに有効な加速度が、コンクリートの表面から深さ 700mm の位置まで伝達されており、一般に 1 層の打込み高さを 500mm とすると、最終層のコンクリート全体に対して締固め効果が得られる。
- ⑤ 表面締固めバイブレータの品質向上効果は、施工時の外気温の影響を受ける。
- ⑥ 施工速度が著しく大きくなると、品質向上効果が小さくなる。これは、通常の内部振動機と同様に、締固め時間が短すぎると十分な締固め効果が得られなくなるためと考えられる。
- ⑦ ブリーディングが少ない高強度コンクリートや高流動コンクリートに対して表面締固めバイブレータを使用すると、通常の配合に比べて若干効果が小さくなるものの、表面気泡の低減などコンクリートの品質は向上する。
- ⑧ 動画を用いた表面締固めバイブレータの速度管理システムを構築した結果、概ね精度良く施工速度を把握することができた。ただし、その精度はビデオカメラ設置位置や撮影の方向に影響を受ける。

参考文献

- 1) 國島正彦, 小沢一雅; 沈下ひび割れ防止によるコンクリート構造物の耐久性向上 (表面締固めバイブレータ使用の標準化の提案), 土木学会論文集 第 421 号/VI-13, 1990.9, pp.185-193.
- 2) 川口千大, 谷野英一, 小西哲司, 柳澤則文, 木場義幸; 振動や転圧による表面仕上げがコンクリート床版の品質におよぼす影響, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014.9, pp.1123-1124.
- 3) 皆口正一, 丸山久一, 稲葉美穂子, 坂田昇; 高流動コンクリートの材料分離測定方法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996, pp.87-92.
- 4) 山中金次郎, 松尾憲一; 土壌硬度に関する研究, 日本土壌肥科学, 第 33 巻, 第 7 号, 1962, pp.343-347.
- 5) 土木学会; 構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会 (335 委員会) 成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ No.80, 2008.4.
- 6) R.Torrent, L.Fernandez Luco; Non-Destructive Evaluation of Penetrability and Thickness of the Concrete Cover, State-of-the-Art Report of RILEM TC 189-NEC, 2007.5, pp.45-51.
- 7) 村田二郎; フレッシュコンクリートの挙動に関する研究, 土木学会論文集 第 378 号/V-6, 1987.2, pp.21-33.
- 8) 前川陽平, 関健吾, 渡邊賢三, 横関康祐, 松村紘明, 坂井吾郎, 田中晶悟; 表面締固めバイブレータによるスラブ部材の品質向上効果, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014.9, pp.1125-1126.
- 9) 横関康祐, 関健吾, 林大介, 曾我部直樹, 戸張正利; 仕上げ方法が高強度コンクリートを用いたスラブ部材の表層品質に及ぼす影響, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.9, pp.1271-1274.
- 10) 木村彩永佳, 横関康祐, 高柳達徳, 秋山吉弘, 矢田勤, 山田淳夫; 振動による締固めが高流動コンクリートの品質に及ぼす影響, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013.9, pp.1159-1160.
- 11) 土木学会; 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, 2012.

Concrete Quality Improvement Effect of Surface Compaction Vibrator and Its Mechanism

Fumiyoshi Kawasaki, Kengo Seki, Daisuke Hayashi, Naoki Sogabe, Yuki Sano, Ryuta Katamura, Kenichiro Tsuyuki and Kosuke Yokozeki

It has been reported that the surface quality of concrete is improved by using a surface compaction vibrator. However, the mechanism of quality improvement and the impact of the construction conditions are not fully understood. In this study, surface quality was evaluated to clarify the mechanism of quality improvement. It was shown that air voids of less than 0.1 mm were increased by using a surface compaction vibrator, thereby improving the degree of rebound and the air permeability coefficient. Furthermore, quality improvement was found to be affected by concrete casting conditions such as air temperature, speed, and mix proportions.