

6. 打込み方法の違いが構造体コンクリートの品質に及ぼす影響

Effect of different placing methods on the quality of structural concrete

荒木 朗*¹ 山崎 順二*²

要 旨

近年、圧送事業者から従事者不足の声を聴く。RC 造などの現場では、寝かし打ちを指示されることもあり、吊打ちはまだ一般的とは言えない。本研究では、吊打ちを含めたさまざまな打込み方法・打込み速度により、実大実験としてポンプ車生コン車を配置して、柱試験体の構築を行った。

コンクリート試験体作成後、表層品質およびコア供試体採取により圧縮強度などを確認し、打込み方法の違いが構造体コンクリートに及ぼす影響を確認することを試みた。

結果として、吊打ちという施工方法は、必ずしも構造体コンクリートに悪い影響を及ぼすということはないことが確認できた。

キーワード：コンクリート／圧送／省力化／吊打ち・吊るし打ち／表層品質／圧縮強度

1. はじめに

コンクリートをポンプ車から構造体に打ち込む方法は、先端のフレキシブルホースの設置状況によって、「寝かし打ち」、「吊打ち」の2種類に大分される。また、実際の作業所では、これらを組み合わせた「併用打ち（初め寝かし打ちをしていて、生コンクリートの吐出が安定したら吊り打ちに変える）」という打込み方を採用することもある。

一方で、吊打ちは落下したコンクリートの分離および飛散が生じやすいという認識から打込み欠陥の発生を懸念して、寝かし打ちで施工するよう指示されることがある。これは、日本建築学会が発刊する「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」(2022)などにも「コンクリートの自由落下高さおよび水平移動距離はコンクリートが分離しない範囲とする。」および『コンクリートの材料分離を防ぐため筒先を寝かせた姿勢となる「寝かし打ち」が基本となる。』などと規定されていることによると考えられる。

そのため、圧送作業員は配筋された鉄筋上や、型枠などが並べられている足元が悪いなか、また場所によってはコンクリートが充填されたフレキシブルホースを担ぎながら、コンクリートを打ち込む必要があるという負荷の高い作業が発生する。

そこで、安全性に配慮しつつ、構造体コンクリートの品質を落とすことなく、かつ圧送作業員の負担軽減につなげることを目的に、吊打ちを含めた打込み方法の違いが、構造体コンクリートの品質に及ぼす影響を調べるため、日本建築学会近畿支部のワーキングメンバー、近畿生コンクリート圧送協同組合と共同で実大実験を行ったので、ここに報告する。

2. 実大実験計画

打込み方法の違いが構造体の品質に及ぼす影響を把握することを目的として、2024 年度（12 月）に実大実験を行った。以下に詳細を示す。

2.1 実大実験の概要

神戸市にある生コン工場の敷地内に、写真-1 に示すように内部に鉄筋を配筋した柱型枠を 10 体と、打込み作業および状況確認のための仮設足場を設置し、図-1 に示す配置でポンプ車および生コン車をセットした状態で、それぞれの柱型枠内にコンクリートを打ち込んだ。

2.2 柱試験体（型枠および配筋）の状況

模擬構造体の形状と配筋を図-2 に示す。吊打ちにおいて、材料分離に伴って構造体に不均質な箇所が生じる要因として圧送速度の速さが考えられたことから、本実験では、ある程度早い圧送速度でも打込みができるように、対象を断面□-800×800mm、高さ 2,000mm の柱を模擬した構造体とした。さらに模擬柱の上部に、梁を模擬する□-φ 6mm@50mm の溶接金網を 2 段設置し、四隅に□-100×100mm の開口を設けた。これにより、実際の柱の打込みのように、その開口部から棒状パイプレータを挿入して振動締固めが行えるようにした。

柱内の配筋は、すべて D13 の鉄筋を用い、各面 7 本ずつ配置した縦主筋に、100mm 間隔で帯筋を配筋することとした。なお帯筋のかぶり厚さは、40mm とした。

コンクリートの打込みは、柱中央部付近からとし、吊打ちでは筒先の高さをワイヤーメッシュから 500mm とし

*1 技術研究所建築材料研究グループ *2 技術研究所

以下の要領で行うこととした。

- ① バルブを、常時最大に開放した状態としておく。
- ② エンジン回転数を調整するボタンを押す回数によって吐出量を変更する。ボタンを押す回数は、2回から6回とする。
(2回：B-低速、4回：C-中速、6回：D-高速)

2.4 使用材料および調査

使用材料を表-3に、調査を表-4に示す。これらは、すべて当該生コン工場で標準的に使用されているものである。

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
打込み方法	①吊り、②寝かし、③併用、④改良
圧送速度	B低速、C中速、D高速
呼び強度	30-18-20N、40-18-20N

表-2 実験記号と各水準の組合せ

No.	実験記号	呼び強度	打込み方法	吐出量 (圧送速度)
1	30-18③C	30-18-20N	③併用打ち	C-中速
2	30-18③D	30-18-20N	③併用打ち	D-高速
3	30-18②B	30-18-20N	②寝かし打ち	B-低速
4	30-18②C	30-18-20N	②寝かし打ち	C-中速
5	30-18④B	30-18-20N	④改良吊打ち	B-低速
6	30-18①B	30-18-20N	①吊打ち	B-低速
7	30-18①C	30-18-20N	①吊打ち	C-中速
8	30-18①D	30-18-20N	①吊打ち	D-高速
9	40-18②C	40-18-20N	②寝かし打ち	C-中速
10	40-18③C	40-18-20N	③併用打ち	C-中速

表-3 使用材料

セメント	C：普通ポルトランドセメント 太平洋セメント株式会社製 密度3.16g/cm ³
水	W：回収水(上澄水)および地下水
細骨材	S1：砕砂 福岡県北九州市小倉区産 表乾密度2.68g/cm ³ 、粗粒率2.55 S2：砕砂 兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度2.58g/cm ³ 、粗粒率2.75
粗骨材	G1：碎石 2005 兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度2.60g/cm ³ 、実積率58.0% G2：碎石 2005 大分県津久見市青江産 表乾密度2.69g/cm ³ 、実積率60.0%
混和剤	ad1：高性能AE 減水剤(標準形) (株)フローリック製：フローリックSF500S 空気量調整剤量は、現地調整(工場標準仕様)による。

表-4 コンクリートの調査

調査記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤 (kg/m ³)
			W	C	S1	S2	G1	G2	
30-18	50	49.9	180	360	442	426	602	267	2.92
40-18	40	46.9	180	450	398	383	612	271	3.51

3. 試験項目と試験方法

実大圧送実験当日および、所定の材齢経過後に、打込み方法の違いによる品質の差異の有無を確認するため、各種試験を行った。実施した項目は、下記のとおりである。

3.1 フレッシュコンクリートの試験

プラントから出荷されたコンクリートは圧送前後で試験を採取し、表-5に示す試験により状態を確認した。

3.2 圧送前後のコンクリートの圧縮強度

フレッシュ試験と同時に、φ100×200mmの簡易型枠で圧縮強度用供試体を作成し、試験日まで標準養生を行った。また、現地の屋外に静置しておいた模擬柱試験体から、それぞれ材齢12週、1年が経過したのち、天端から底面に向けて軸方向全断面に渡りコア供試体を採取した。

圧縮試験は、圧送前後でそれぞれ材齢28日に、また一部圧送前の供試体は、現地で採取したコア供試体と同時期に行うため材齢12週で試験を行った。建築基準法に示される13週を待たず12週に実施としたのは、結果をまとめた報告書の作成期日が、13週まで存置した場合には間に合わせることが不可能であると判断されたためである。

表-5 フレッシュコンクリートの試験項目と方法

採取時期	試験項目	単位	試験方法	備考
圧送前 圧送後	スランブ	(cm)	JIS A 1101	
	スランブフロー	(cm)	JIS A 1150	
	空気量	(%)	JIS A 1128	
	con温度	(°C)	JIS A 1156	
	圧縮強度	(N/mm ²)	JIS A 1108	材齢28日・標準養生
圧送前	圧縮強度	(N/mm ²)	JIS A 1108	材齢83日・標準養生
	静弾性係数	(KN/mm ²)	JIS A 1149	コンプレッションメータ法

3.3 模擬柱試験体表面の仕上がり状態

打込み後、材齢 7 日経過時点でせき板を取外した。その後、ワーキングメンバーで仕上がり状態を目視観察して、7 点満点で水準ごとの面ごと・打込み不具合ごとの評価をそれぞれが採点したのち、多数決により評価点を決めた。

3.4 柱試験体の表層品質評価

材齢 8 週経過時点で、表-6 に示す確認項目で表層の品質を評価した。確認は非破壊による方法を原則とした。

各種評価は、図-3 に示すように作成的とならないよう、すべての面で計測位置を固定し、全試験体共通の位置とした。ただし、明らかな空隙（気泡）や砂すじが計測位置に認められた場合については、その位置を水平に避けて計測することとした。

3.5 柱試験体から採取したコア供試体による物性試験

材齢 12 週および 1 年経過時点で採取した軸方向全断面コア供試体は、底面側からそれぞれ約 200mm となるよう切断し、両端面を研磨したのち、表-6 中「コア供試体採取」の欄に示すそれぞれの試験に供することとした。

4. 各種確認／試験結果

4.1 フレッシュコンクリートの試験

プラントから出荷されたコンクリートは圧送前後でそれぞれ試料を採取し、表-5 に示す試験により状態を確認した。試験結果を表-7 に示す。

No. 2 について、圧送前のスランプが計画より小さかったため、混和剤を追加投入して再試験を実施した。

全体として、圧送後にスランプおよびスランプフロー平均値、空気量はやや小さくなり、単位容積質量はやや増加する傾向が伺える。これは、圧送時に加わる圧力や配管内壁との摩擦などの影響を受けて、連行空気および一部ペースト分が減少してしまったものと推察される。結果としては、全て基準値以内であり悪くない結果であったと言える。

4.2 圧送前後のコンクリートの圧縮強度

フレッシュ試験と同時に、φ100×200mm のプラスチック製成形型枠で圧縮強度用供試体を作成し、試験日まで標準養生を行った。また、現地の屋外に静置しておいた模擬柱試験体から、それぞれ材齢 12 週、1 年が経過したのち、天端から底面に向けて軸方向全断面に渡りコア供試体を採取した。

圧縮試験は、圧送前後でそれぞれ材齢 28 日に、また一部圧送前の供試体は、現地で採取したコア供試体と同時期に行うため材齢 12 週で試験を行った。

表-8 に、圧送前後に採取した試料による円柱供試体圧縮強度と見かけのかさ密度を示す。

圧送することで、圧縮強度は向上する傾向があり、見かけのかさ密度も増加する傾向が伺える。この結果については、圧送による圧力および摩擦の影響を受けて、空気や一部ペースト分が抜けてしまったことが一因であると推察される。

表-6 硬化コンクリート確認実施項目および方法

確認項目	方法
表面含水率	電気抵抗式水分計(KETT)
表面硬度	反発度(リバウンドハンマー)
超音波伝播速度	UltraSonic Tester
透気性	ダブルチャンパー法透気試験
コア供試体採取	かさ密度、圧縮強度、細孔径分布

表-7 フレッシュコンクリートの試験結果

番号	調査	筒先	時期	スランプ cm	空気量 %	スランプ フロー(cm)	単位容積質量 kg/L	CT ℃	AT ℃	備考
1	30-18	③併用	前	18.0	4.1	29.5	2.31	11	10	
			後	18.0	3.7	30.0	2.32	11	10	
2	30-18	④改良	前	16.0	4.6	27.0	2.31	11	11	
			前②	22.0	3.3	44.0	2.31	11	11	添加剤400ml追加
3	30-18	②寝かし	前	18.0	4.1	30.5	2.32	13	12	
			後	18.5	5.3	31.5	2.28	13	12	
4	30-18	①吊り	前	18.0	3.8	30.0	2.32	13	12	
			前	19.0	4.3	32.0	2.31	13	13	
5	40-18	②、③	前	19.0	3.4	32.0	2.32	13	13	
			後	18.5	5.5	31.0	2.30	14	13	
			前	17.5	5.0	30.0	2.31	15	13	
			後	17.5	5.0	30.0	2.31	15	13	

表-8 圧送前後の円柱供試体による圧縮強度および密度

番号	調査	筒先	時期	圧縮強度 N/mm ²	見かけのかさ密度 kg/m ³	備考
1	30-18	③併用	前	46.0	2,318	
			後	50.7	2,328	
2	30-18	④改良	前	45.2	2,310	
			後	49.8	2,336	混和剤追加投入
3	30-18	②寝かし	前	47.4	2,309	
			後	47.3	2,327	
4	30-18	①吊り	前	44.8	2,310	
			後	47.5	2,323	
5	40-18	②、③	前	56.7	2,312	
			後	59.8	2,316	

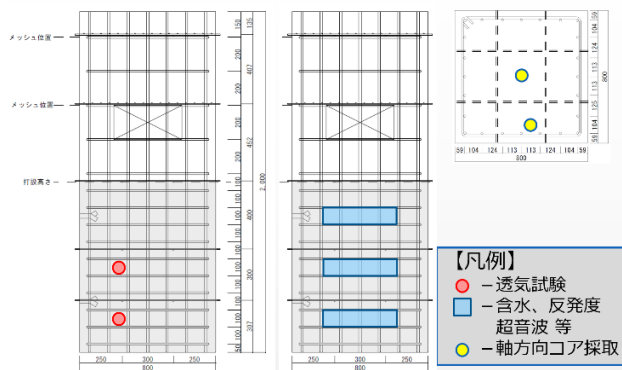


図-3 柱試験体確認実施位置図

4.3 模擬柱試験体表面の仕上がり状態

打込み後、材齢 7 日経過時点でせき板を取外した。その後、ワーキングメンバーで仕上がり状態を目視観察して、7 点満点で水準ごとの面ごと・打込み不具合ごとの評価を採点して、多数決によりそれぞれの評価点を定めることとした。

なお、柱試験体側面に見られた変状は、①表面気泡、②砂すじの 2 種類であり、沈降・ひび割れ・打重ね線などは見られなかったため、評価は 2 項目で行い集計した。

不具合項目ごと・面ごとに決定した評価点から、それぞれ不具合ごとの平均点を算出し、算出された 2 項目の平均点を合わせた平均値を水準ごとの美観点とした。

表面状態の評価を行った基準表を表-9 に、ワーキング内で評価した点数をまとめた結果を表-10~11 に、表層の変状の例を写真-2 および 3 に、試験体の面ごとの仕上がり状態のうち、代表的であるもの抜粋して写真-4~6 に示す。

水準ごとに評価点の傾向を比較すると、下記の傾向が伺えた。

1. 呼び強度が上がり打込むコンクリートの粘性が高くなると、表層の不具合が顕著に減少する傾向が伺える。
2. 打込み速度が低速になると、表層の不具合が増加する傾向が伺える。

3. 吊打ちでは、低速での打込み時に表層の不具合(砂すじ)が多く出たが、高速での打込みでは表層の不具合が顕著に減少した。
4. 寝かし打ちでは、低速時に比較的安定した品質が確保できていたが、打込み速度の上昇により表層の不具合が顕著に増加した。また、中速以上では梁を模擬した溶接金網上にコンクリートが溜まってしまい、他の打込み方法よりも早期に振動を与えて落下させる必要が生じていた。
5. 併用打ちでは、打込み速度の上昇により気泡は減少したが、砂すじは増加する傾向が伺える。
6. 低速での打込みでは、寝かし打ちは比較的良好であったが、吊打ちは多くの表層不具合が発生した。
7. 一方、中速以上での打込みでは、吊打ちは比較的良好な表層となり、寝かし打ちで不具合が多くなることが確認された。
6. 打込み方法の違いとともに打込み速度の変化の影響は大きく、打込み部位に適した打込み速度の選択が、非常に重要であることが改めて確認できた。
7. 本実験の範囲においては、吊打ちや併用打ちにより得られる表層部の品質は決して悪いものではなく、打込み速度との組合せによっては寝かし打ちよりも表層部の不具合を少なく抑えることができていた。

表-9 表面状態の評価基準表

項目	表面状態				
	不合格	1点	3点	5点	7点
気泡	ほどこせられない	表面気泡が多い	10mm程度の気泡が認められる	5mm以下の気泡が点在している	気泡がほぼ見られない
砂すじ	ほどこせられない	砂すじが多い	調査対象範囲の1/3程度に砂すじが認められる	数か所に砂すじが認められる	砂すじがほぼ見られない

表-10 柱試験体の面ごとの評価点

実験記号	強度	【要因】 方法	速度	美観	気泡	砂すじ	気泡				砂すじ			
							①	②	③	④	①	②	③	④
30-18③C	30	併用	中	5.25	4.50	6.00	3	3	5	7	7	5	5	7
30-18③D	30	併用	高	4.75	5.00	4.50	5	5	3	7	3	1	7	7
30-18②B	30	寝かし	低	5.25	6.00	4.50	5	5	7	7	3	3	5	7
30-18②C	30	寝かし	中	4.00	3.50	4.50	5	5	3	1	5	7	5	1
30-18④B	30	改良	低	5.25	5.00	5.50	3	5	5	7	7	3	5	7
30-18①B	30	吊り	低	3.00	5.00	1.00	5	5	5	5	1	1	1	1
30-18①C	30	吊り	中	5.50	6.00	5.00	5	5	7	7	3	7	3	7
30-18①D	30	吊り	高	6.50	6.00	7.00	7	7	5	5	7	7	7	7
40-18②C	40	寝かし	中	6.75	6.50	7.00	7	7	7	5	7	7	7	7
40-18③C	40	併用	中	7.00	7.00	7.00	7	7	7	7	7	7	7	7

表-11 要因ごとの評価(美観)点の傾向

要因	水準	評価	要因	水準	評価	要因	水準	評価
呼び	30	4.94	方法	吊り	5.00	吐出力	低	4.50
	40	6.88		寝かし	5.33		中	5.70
		併用		5.67	高		5.63	
		改良		5.25				



写真-2 表層変状 (表面気泡の例)



写真-3 表層変状 (砂すじの例)

4.4 柱試験体の表層品質評価

材齢8週経過時点で、各確認項目について表層の品質を評価した。確認は非破壊による方法を原則とした。

(1) 表面含水率

表層組織のち密さを測定する透気試験を行うため、事前に目安として KETT 社の試験機(HI-520)により表面含水率を測定した。前日夜の降雨の影響からやや高い値も見られたが、透気試験による傾向の比較に対して影響は大きくないものと判断した。

結果としては、打込み方法の違いによる差異は見られなかった。水準ごとの計測結果を表-12 に示す。

(2) 表面硬度（反発度）および超音波伝播速度

コンクリート表層部の圧縮強度について差異確認のため、反発度と超音波伝播速度を測定した。それぞれの結果からは、打込み方法の違いによる明確な差異は見られなかった。要因ごと・計測高さごとに平均値を算定して確認したところ、計測位置の高さが下がるにつれて両結果共に数値が上昇する傾向が確認された。

また、両測定結果から参考図書 2) に基づき圧縮強度の推定を試みたが、想定以上に低い結果が得られた。

反発度と超音波伝播速度のマトリクスから表層の圧縮強度を推定した結果の例を図-4 に示す。

表-12 水準ごとの表面含水率測定結果平均値

	30・併・中	30・併・高	30・寝・低	30・寝・中	30・改・低
中段	4.84	5.28	4.94	5.16	5.13
下段	5.05	4.97	4.85	5.03	4.91
	30・吊・低	30・吊・中	30・吊・高	40・寝・中	40・併・中
中段	6.16	5.42	5.23	5.35	5.50
下段	4.97	5.25	5.06	5.17	5.39

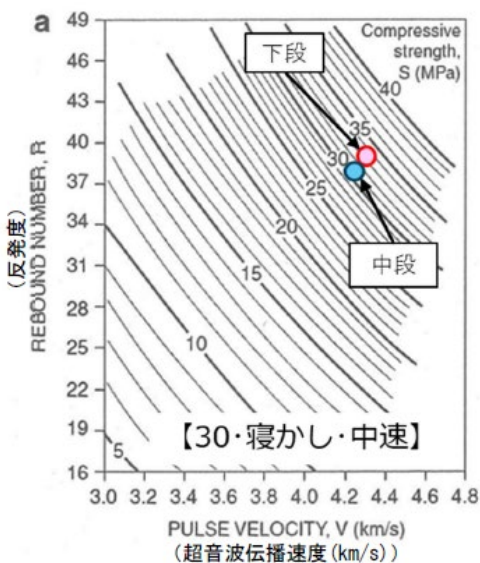


図-4 反発度と超音波伝播速度による表層強度推定

反発度と超音波伝播速度の関係から圧縮強度の推定を行うための推定曲線については、現在のコンクリートに対してより精度の高い曲線の追求が必要であると考え。

なお、同試験は材齢8週、半年、1年経過時点でもそれぞれ確認したので、経時によるそれぞれの変化を、図-5~6 に示す。

反発度は材齢とともに増進傾向が見られたが、打込み方法の違いによる明確な差異は見られなかった。また、呼び40と呼び30の間で逆転現象が見られた。

超音波伝播速度について、材齢とともに増進傾向が見られるが、半年材齢の確認を酷暑期に実施したこともあり、環境温度による組織の膨張の影響から、13週の測定結果と比較して遅くなっていたが、全体として順調な増進傾向が伺える。打込み方法による明確な差異は見られなかった。

(3) 透気性（ダブルチャンバー法透気試験）

表層組織のち密さの確認のため、ダブルチャンバー法透気試験を行った。全体として各水準で材齢とともにち密化する傾向を示しているが、材齢13週時点の結果が他の材齢より大幅に小さい結果となっているのは、試験日前日の降雨の影響により、表面含水率が高かったことによるものと考え。なお、打込み方法の違いによる明確な差異は見られなかった。

打込み方法ごと、打込み速度ごとの透気試験結果平均値を図-7 に示す。図に示す結果は、含水率の影響を考慮した補正は加えていない。

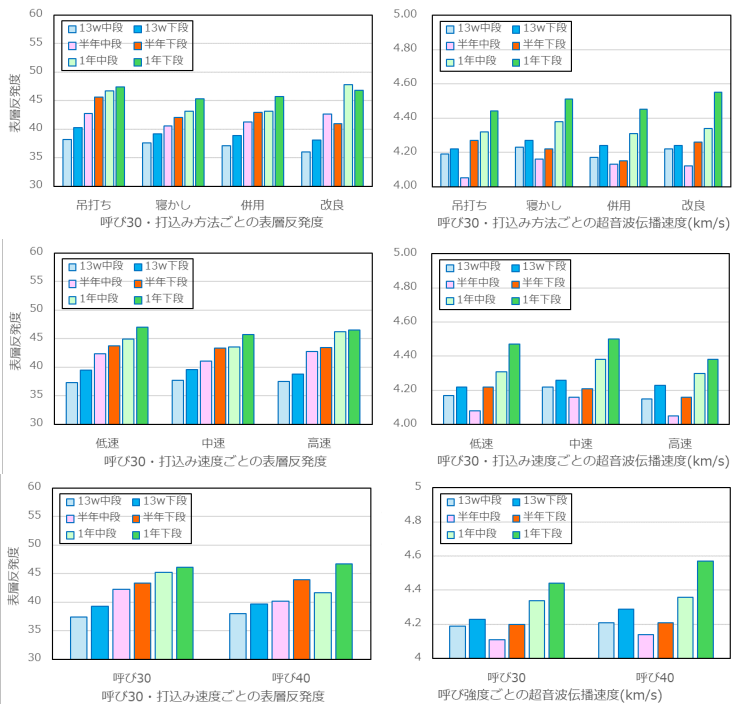


図-5 要因ごとの表層反発度

図-6 要因ごとの超音波伝播速度

(4) 表層のコンクリート組織の品質評価に関するまとめ

表層のコンクリート組織について、表面含水率、透気性、表面硬度（反発度）、超音波伝播速度を測定し、測定値から表層の圧縮強度の推定も行い比較検証したが、それぞれの物性について打込み方法の違いによる明確な差異は確認できなかった。

打込み部位ごとに適した打込み方法・打込み速度の選択を適切に行うことが重要であると考える。

4.5 柱試験体から採取したコア供試体による物性試験

屋外に1年間静置した柱試験体から図-1に示す平面位置で、材齢12週時点および1年経過後に、軸方向全断面（ $H=1,000\text{mm}$ ）のコア供試体を採取し、底面側から $H=200\text{mm}$ ごとに切断して各部位から5本の試験体を用意した。試験体はそれぞれ両端面を研磨した後、圧縮強度試験などに供することとした。

(1) コア供試体の採取高さごとのかさ密度の傾向

材齢12週時点で採取したコア供試体の採取高さごとの見かけのかさ密度について、水準ごとに比較した。柱断面内の中央部と外周部の比較、天端側と底面側の比較をしたが、全体として天端側は底面側よりも小さい密度となっており、打込み時の重力加速度および締め固めの影響を受けてしまっていることが推察される。また、中央部と外周部では、中央部の方がかさ密度は小さくなっていった。

打込み方法および速度により傾向を比較すると、吊打ちによる試験体では、変動係数が他の要因よりもばらつきが大きく（1.14%）、打込み速度ごとの比較では中速のばらつきが大きく（1.12%）になっていた。

図-8に、水準ごと・打込み高さごとのかさ密度測定結果を、図-9に、打込み方法ごと・打込み速度ごとのかさ密度の傾向を、図-10に要因ごとのかさ密度変動係数を示す。

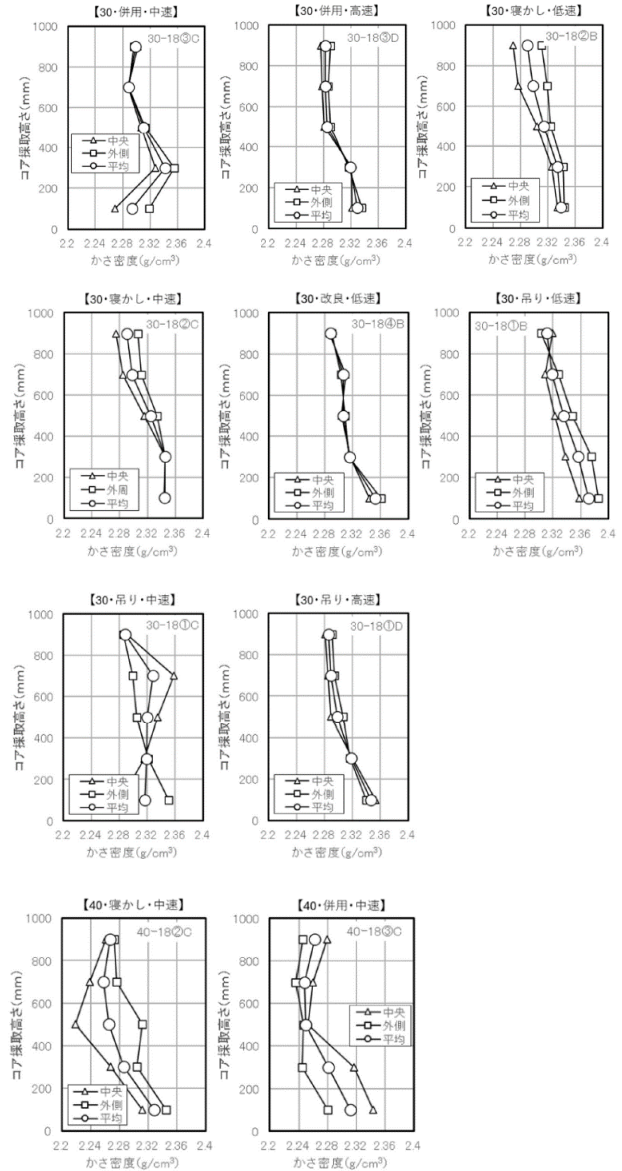


図-8 水準ごと・打込み高さごとのかさ密度の傾向

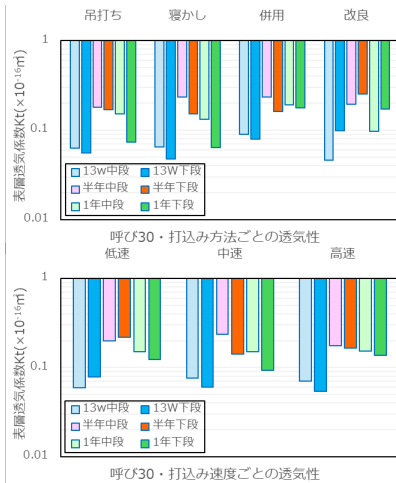


図-7 打込み方法および速度ごとの透気性（経時）比較

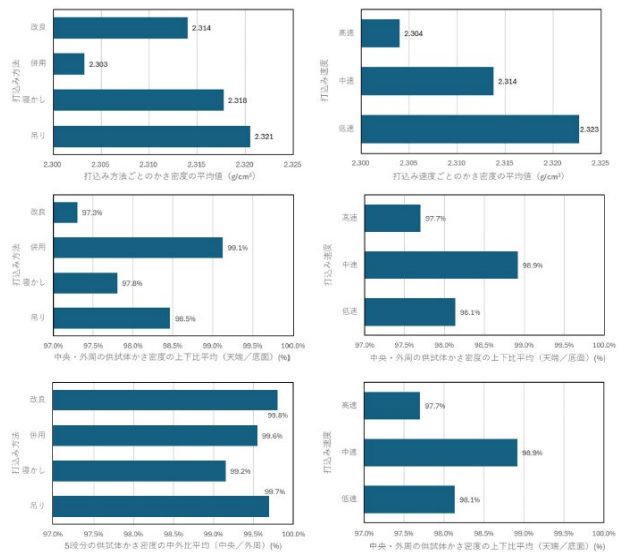


図-9 打込み方法ごと・速度ごとのかさ密度の傾向

(2) コア供試体圧縮強度 (経時変化も含めて)

材齢 8 週および 1 年経過時点におけるコア供試体圧縮強度試験結果について、水準ごと・採取高さごとの結果を図-11 に、それぞれ要因ごとにまとめて比較した結果を図-12 に、打込み方法ごとの上下比 (天端側強度÷底面側強度) および外中比 (外周側強度÷中央側強度) を図-13 に示す。

材齢 13 週から 1 年にかけて、すべての水準で順調な強度発現および増進が確認できた。打込み方法ごとの比較では、他の要因と比較して寝かし打ちは、圧縮強度の平均値がやや低い結果となっていた。

また試験体内の高さ方向および水平方向の圧縮強度の変動の傾向について、材齢 13 週試験体では、寝かし打ちの変動係数が大きく、天端および外周側の圧縮強度が低かったが、材齢 1 年の供試体では傾向が逆転するようになっていた。吊り打ちでは、上下の強度差が材齢 1 年の場合に大きくなっていったが、外周と中央の比較では他要因と比較して差異が小さく、平面方向でのばらつきが小さいことが確認された。

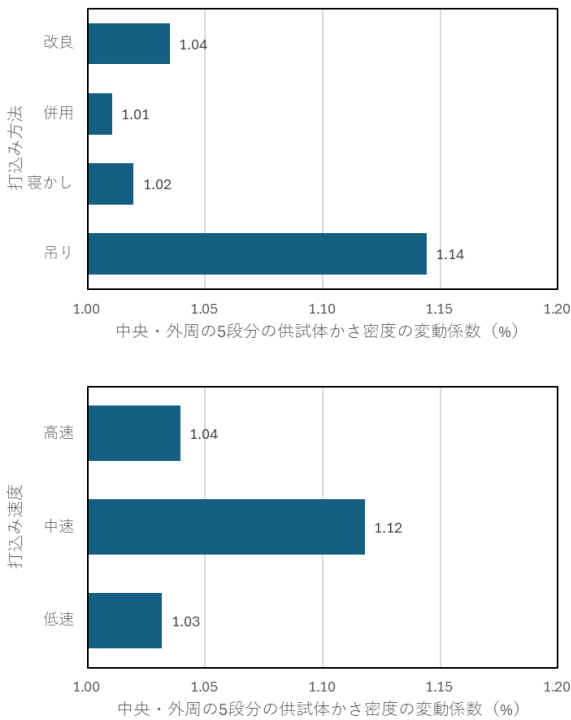


図-10 要因ごとのかさ密度変動係数比較

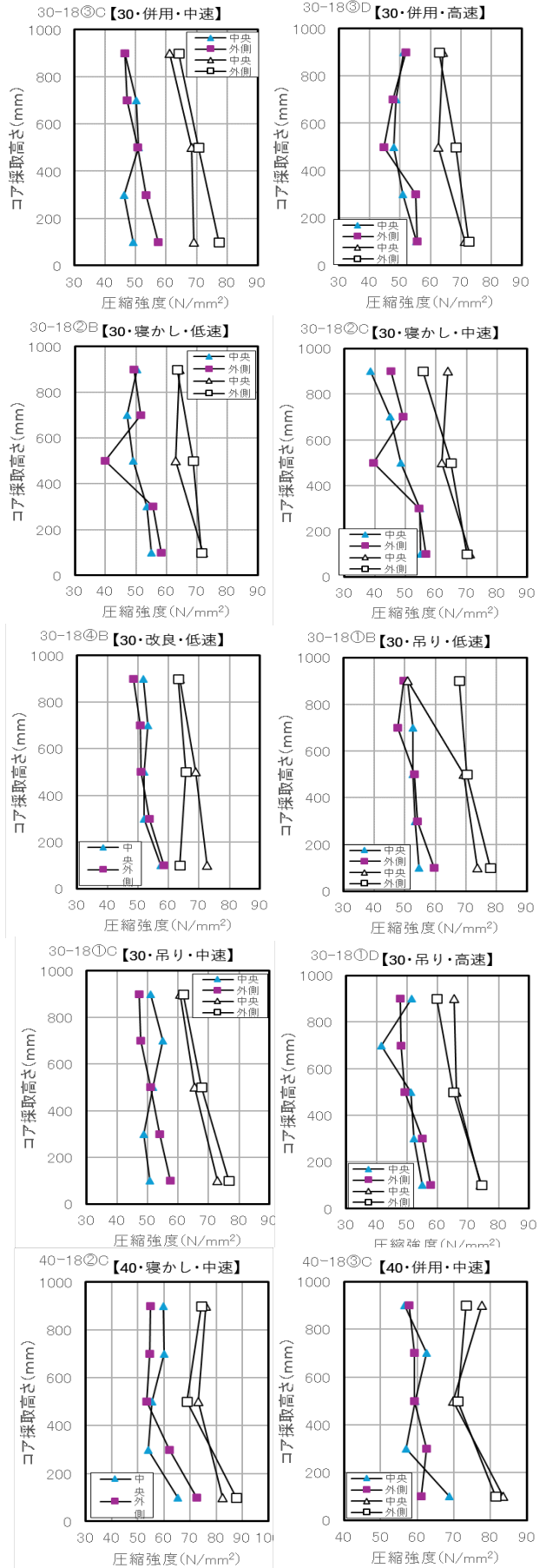


図-11 材齢 12 週/1 年の高さごとコア供試体圧縮強度

(3) コア供試体の細孔径分布

全高さ方向に採取したコア供試体の切断時の破材を用いて、水銀圧入法により各水準の底面付近および天端付近の細孔径分布を確認した。試験に供した破砕片は、中央部および外周部のそれぞれ天端付近、底面付近から切断時に切り分けた部分を用いることとした。

それぞれの細孔径分布曲線からは、要因ごとの明確な差異は読み取れなかった。そこで得られた細孔径分布データを、打込み方法ごとや打込み速度ごとに傾向を比較するよう集計した。

打込み方法ごとの比較では、寝かし打ちと改良打ちで細孔量および比較的大径の細孔量が多いことが確認された。また、吊り打ちでは天端側と底面側の細孔量の分布に差異が生じて天端側が多くなったことが確認された。

打込み速度ごとの比較では、高速での打込みがやや細孔量が少なく抑えられるが、天端側と底面側の細孔量の差異が生じる傾向が確認できた。

図-14 に要因ごとの、劣化因子侵入などに影響があるとされる比較的大口径である $0.1\mu\text{m}$ 以上の細孔量を示す。

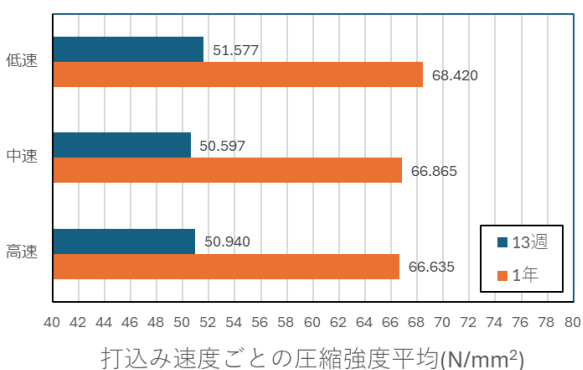
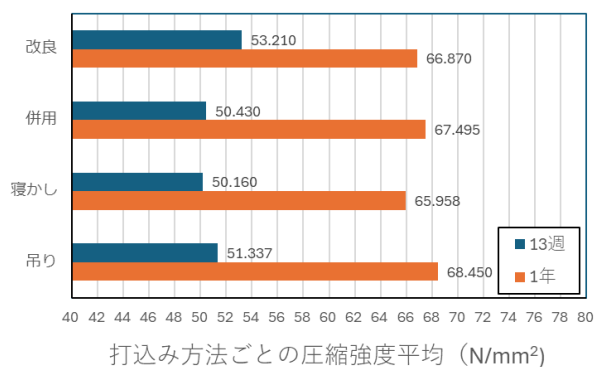


図-12 要因ごとの圧縮強度平均値 (呼び 30 のみ)

(4) コア供試体による試験結果のまとめ

材齢 12 週および 1 年経過時点で、各柱試験から全高さ方向に採取したコア供試体により行った試験では、下記の知見が得られた。

- 寝かし打ちで柱のような鉛直部材の打ち込みを行った場合は、梁配筋などで落下がさえぎられてしまい、落とし込むことに労力を奪われることが有り、打込み速度の向上とともに断面内でのばらつきが大きくなる傾向が伺える。
- 800mm 角の断面で、高さ 1,000mm までの打込みを行ったが、コンクリート断面内の組織の変動は想定しているよりも大きい結果が確認された。
- 打込み方法と打込み速度の選択により、施工性も左右されるが、構造体内部の組成や圧縮強度も影響を受けてしまうことが確認できた。
- 今回の実験では柱という鉛直部材のみで確認進めたが、吊打ちおよび併用打ちによる施工は、必ずしも材料分離や表層品質の低下、圧縮強度の不足につながるものではない。ということが確認された。

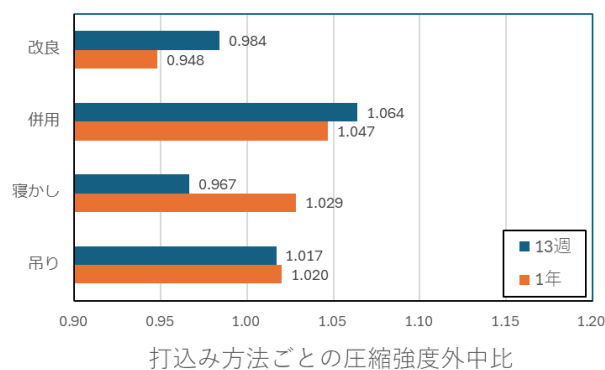
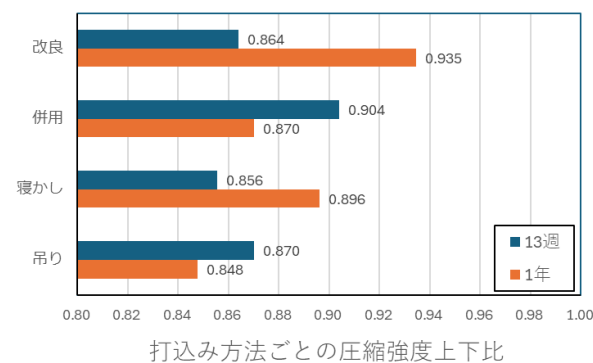


図-13 要因ごとの圧縮強度上下および内外の比率比較

5. まとめ

今回の実験では、柱という部材長さに限りのある鉛直部材を、様々な打込み方法および速度、呼び強度で打込み、比較検証してきた。一連の実験を通して、以下の知見を得られた。

- 1) 今回の実験の範囲では、打込み速度と打込み方法の組合せが重要であり、施工条件に合う打込み方法の選択が必要であることが確認された。
- 2) 吊打ちおよび併用打ちによる施工は、鉛直部材の打込み時に、必ずしも材料分離や表層品質の低下、圧縮強度の不足につながるものではない。ということが確認された。
- 3) 表層コンクリートの仕上り状態、表層部組織の検証では、打込み方法の違いによる明確な差異は認められなかった。
- 4) コア供試体による構造体コンクリートの圧縮強度などの物性を比較したときに、今回の実験の範囲では、寝かし打ちがやや断面内での変動が大きい傾向が見られた。

今回の実験で確認できた範囲は、あくまでも現場のごく一部の条件の再現でしかなく、今後も吊打ちや併用打ちなどの可能性を見出せるように、条件を変えた実験に臨みたいと考える。

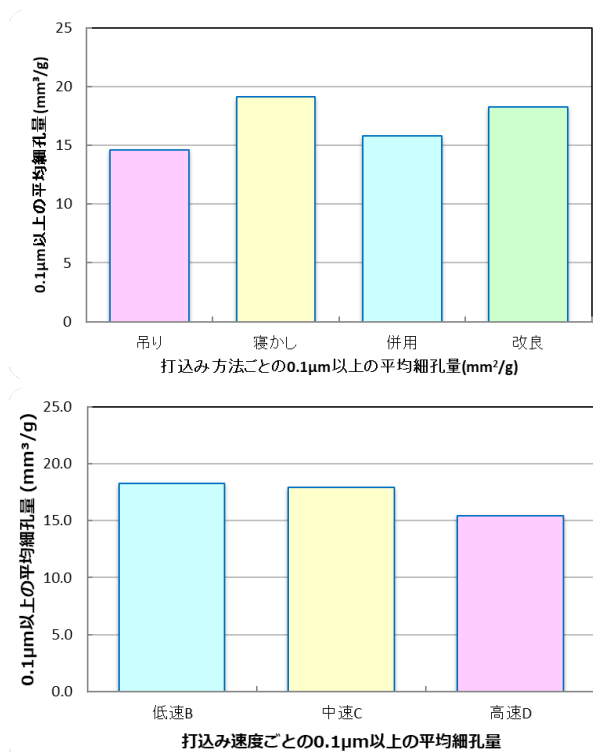


図-14 要因ごとの0.1μm以上の平均細孔量比較

6. 付録

以下に、現地で撮影した全柱試験体の面ごとの表面の仕上り状態の写真と、WGメンバーで採点して決めた美観点および変状ごと・面ごとの評価点を併せて示す。

	東面	北面	西面	南面	四面平均	美観点
気泡	3	3	5	7	4.50	5.25 (四面平均の平均)
砂すじ	7	5	5	7	6.00	

図-15 30-18③C (呼び30・併用・中速)

	東面	北面	西面	南面	四面平均	美観点
気泡	5	5	3	7	5.00	4.75 (四面平均の平均)
砂すじ	3	1	7	7	4.50	

図-16 30-18③D (呼び30・併用・高速)

	東面	北面	西面	南面	四面平均	美観点
気泡	5	5	7	7	6.00	5.25 (四面平均の平均)
砂すじ	3	3	5	7	4.50	

図-17 30-18②B (呼び30・寝かし・低速)

	東面	北面	西面	南面	四面平均	美観点
気泡	5	5	3	1	3.50	4.00 (四面平均の平均)
砂すじ	5	7	5	1	4.50	

図-18 30-18②C (呼び30・寝かし・中速)

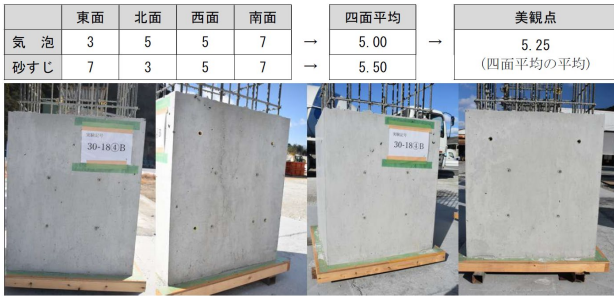


図-19 30-18④B (呼び 30・改良・低速)

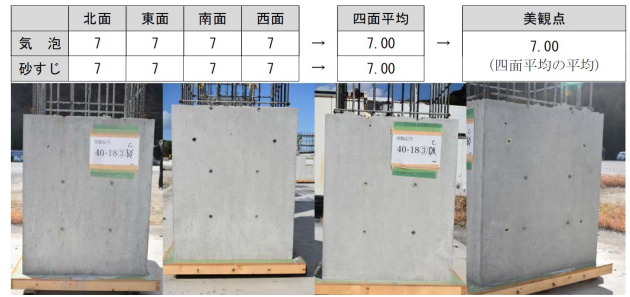


図-24 40-18④B (呼び 40・併用・中速)

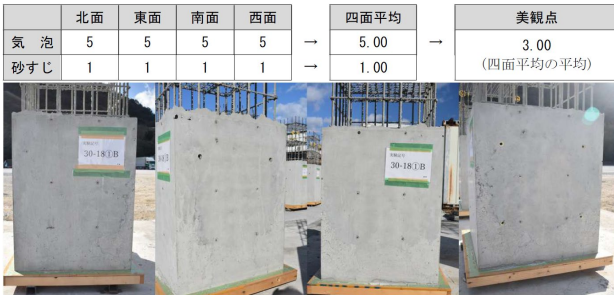


図-20 30-18①B (呼び 30・吊り・低速)

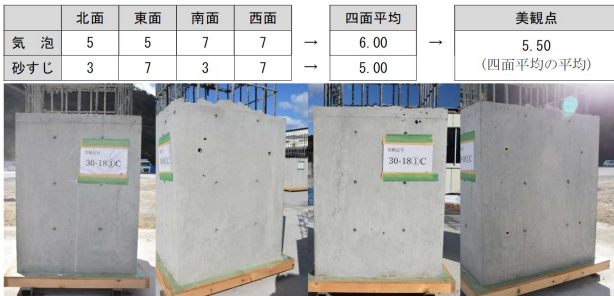


図-21 30-18①C (呼び 30・吊り・中速)

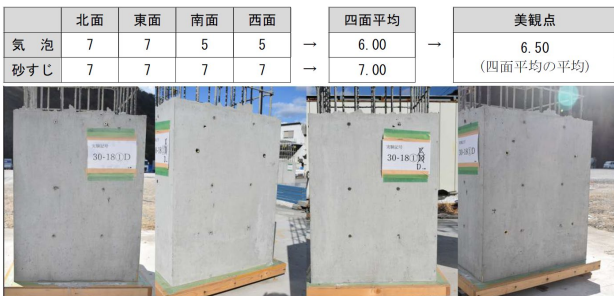


図-22 30-18①D (呼び 30・吊り・高速)

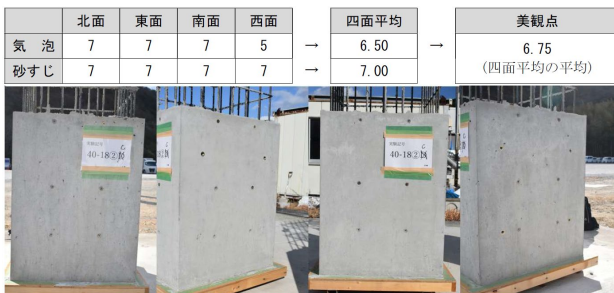


図-23 40-18①C (呼び 40・寝かし・中速)

[謝辞]

本研究において多大なるご協力をいただいた日本建築学会近畿支部・圧送ワーキングメンバー各位、近畿生コンクリート圧送協同組合員各位に深く感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) 山崎ほか、第 21 回圧送技術研究会資料, 2025
- 2) 日本建築学会: コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 1983 年