

[10] コンクリートの自動締固め工法に関する研究

正会員 平 賀 友 晃 (戸田建設技術研究所)
 正会員 篠 崎 徹 (戸田建設技術研究所)
 正会員 ○倉 林 浩 (戸田建設技術研究所)
 正会員 荒 巻 哲 生 (戸田建設技術研究所)

1. まえがき

コンクリート工事に関連した施工技術の開発については材料の開発、工法の機械化を中心に作業の合理化、生産性の向上が推進されてきた。コンクリートの製造や運搬などの生産性は生コン工場の自動化やコンクリートポンプの普及により、大幅に向上した。しかし、締固め作業についてはパイプレータの大型化と振動の高周波化が計られたが、手作業の部分が残されコンクリートの打込み欠陥の発生するケースが多い。コンクリートの打込み欠陥の発生要因図を図-1に示す。

一方、構造体コンクリートの品質の信頼性が低下し、その対応に迫られ、建設業においてもTQCやVEの導入により構造体コンクリートの品質向上が再認識されている。

ここでは、コンクリートの締固め作業の省力化とコンクリートの品質向上を目的として、小型軽量型棒振動機とコンクリート検知センサーを用いた自動締固め工法の開発及び施工実験の結果について報告する。

2. 自動締固め工法の概要¹⁾

本工法は、型枠にセットした高感度なコンクリート検知センサーと高性能な小型軽量振動機を連動した、特殊な制御装置および遅延剤によって構成され、現場事務所の操作室において、短時間にコンクリートの一括大量打込み締固めと、任意の再振動が自由継続できる特徴を持ったシステムである。利点は以下の通りである。

- ① 監視カメラやディストリビューターを使用することにより無人でコンクリートの打込み締固め作業ができ、省力化が計れ、さらに安全性が向上する。
- ② 従来は突きや叩きでしかできなかった壁の締固めが振動機で自由に操作でき、打込み方法の改善及びコンクリートの品質保証ができる。
- ③ 凝結遅延剤を用いることにより、任意の時間の再振動によって強度の向上が計れる。また、凝結遅延剤により、コ

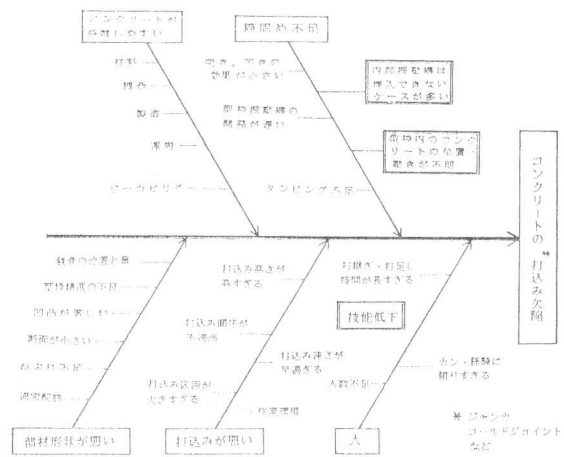


図-1 コンクリートの打込み欠陥発生の特異要因図

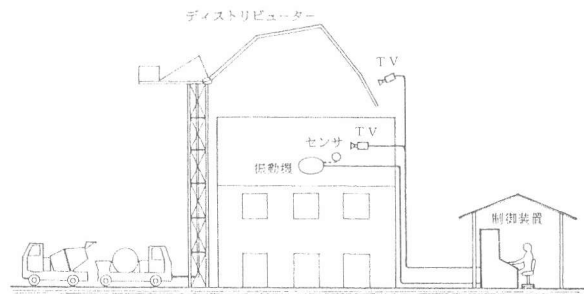


図-2 打込み締固めのシステム工法

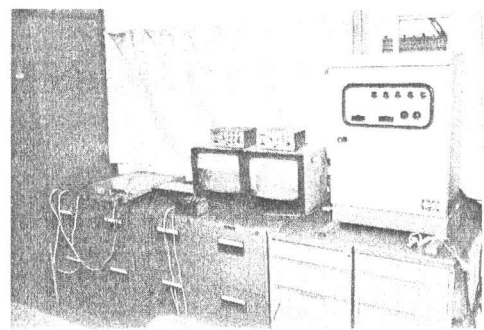


写真-1 制御装置

ールドジョイントや打継ぎ不良などが除去できる。

3. 施工実験

小型軽量型枠振動機の効果とコンクリート検知センサーの作動状況、コンクリートの品質を確認するためにモデル建物を用いて施工実験を行なった。

3.1 実験方法

a) モデル建物の概要 モデル建物は柱、梁、スラブで構成され、開口部を持ったRC構造体である。各部の寸法を図-3に示す。壁厚は150mmで、柱、梁の主筋はD22、壁、スラブはD10を150mmピッチでシングル配筋した。配筋の状況を写真-2に示す。また、壁のB・D面には写真-3に示すように巾300mm、高さ150mmの門型の障害物を各4ヶ所設けた。型枠は12mmのコンクリート用合板を用い、600mmピッチにセパレータを使用し組立てた。

b) コンクリートの調合 コンクリートの調合を表-1に示す。ベスコンクリートのスランプは12cm、これを18cmに流動化した。呼び強度は210kg/cm²、粗骨材の最大寸法は25mmであった。なお、ベスコンクリートに遅延剤を用いているのは打込み終了後に再振動をかける予定からである。

c) コンクリートの打込み コンクリートの打込みはブーム付ポンプ車で行ない、梁上端まで一度に打上げ、続いてスラブを打込んだ。

d) 締固め コンクリート検知センサー（二端子間の微小電流を応用）と振動機（FRV-200、遠心力200kgf、自重6kg、可変振動数3000~9000rpm）を図-4に示す各位置に取付けた。振動機の20cm下までコンクリートが入ると、振動機が始動し、コンクリートが梁上端にくるまで継続して締固める。なお、障害物の中や開口部の下端に取付けたセンサーにより充てん状況を把握し、未充てん部のないよう振動機（今回は6000rpmとした）を作動させた。

e) 硬化したコンクリートの品質 締固めの状態を定量的に把握するために、コア供試体の圧縮強度（10φ×15cm）シュミットハンマーによる反撥度、簡易透気速度（測定孔の深さを40mmとした²⁾）について測定した。測定位置を写真-5に示す。

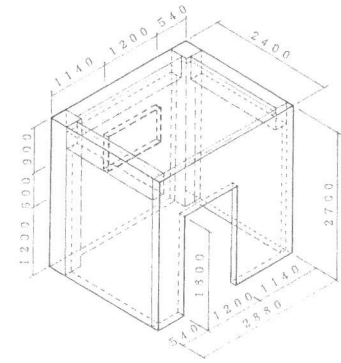


図-3 モデル建物

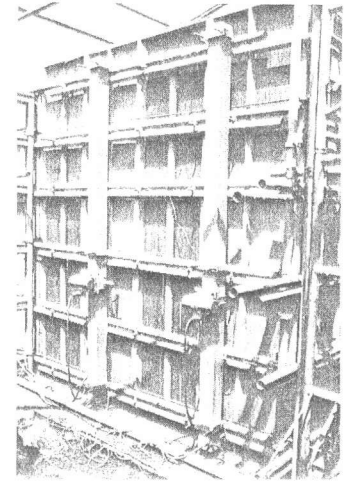


写真-4 振動機及び検知センサー取付け方法

表-1 コンクリートの調合

水セメント比 (%)	骨材容積 (%)	単位容積 (kg/m ³)	絶対容積 (kg/m ³)			重量 (kg/m ³)			遅延剤 (kg/m ³)	流動化剤 (kg/m ³)
			セメント	粗骨材	細骨材	セメント	粗骨材	細骨材		
58.3	44.0	155	8.9	3.20	3.96	2.80	8.31	1.27	1.40	0.668

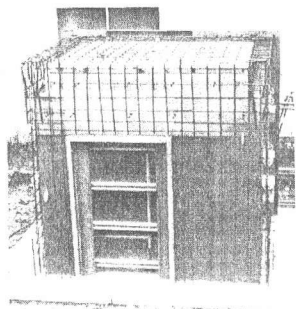


写真-2 配筋状況

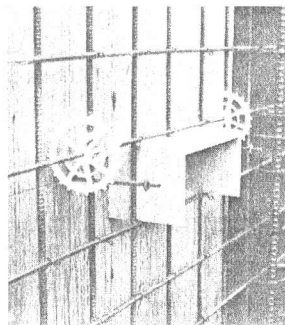


写真-3 障害物

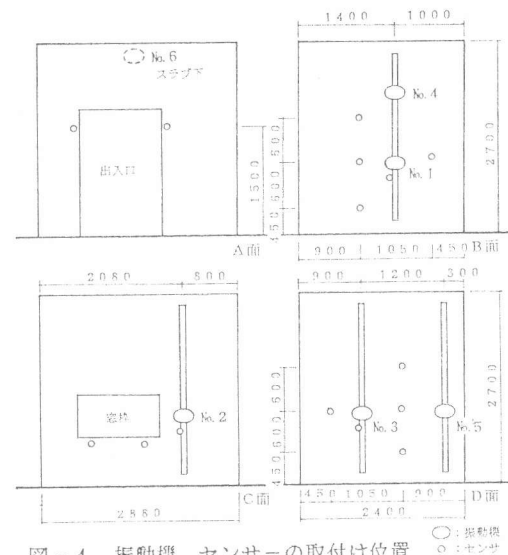


図-4 振動機、センサーの取付け位置

○: 振動機
○: センサー

f) 振動機の加振範囲 型枠振動機 (FRV-200) の加振範囲を調べるために携帯形振動計 (セン断形圧電式加速度ピックアップ) により型枠の振動をコンクリートの充てん状態と未充てん状態について測定した。

3.2 コンクリートの打込み、締固め状況

コンクリートの打込み状況を写真-6に示す。コンクリートポンプの筒先に配置した作業員1人だけで打込み締固めを完了した。打込んだコンクリート量は5 m^3 であったが打込みに要した時間は14分10秒であった。締固め時間は1台当り2分55秒であった。B壁の振動機のうち1台は補助的に配置したため再振動の時のみ加振した。全ての打込み締固めが終了してから全振動機を3分間加振して再振動を行った。

振動機の加振範囲は振動機的能力、型枠の刚性、振動機の取付け方法与位置、コンクリートが充てん状態か未充てん状態かによって変化するものと考えられる。今回の測定では、図-5に示すように、振動機から1m離れた点で、コンクリートの充てん部分が0.4~1.5G、未充てん部分が3~4.5Gの加速度であった。なお、別の測定によれば、加振による側圧の増減はみられなかった。

3.3 硬化したコンクリートの品質

型枠解体後のコンクリートの状況を写真-7に示す。

どの壁面をみても、ジャンカや豆板などの欠陥や砂すじなどはみられず、また、開口部の下端や障害物の中にもコンクリートが十分に充てんされていた。

a) コア供試体の圧縮強度 コア強度は図-6に示すように、上下の強度差がみられ、既往の研究結果と同様の傾向を示した³⁾。図-7に振動時間とコア強度の上下差を示すが、振動時間が増えると強度の上下差はやや少くなるようである。内部振動機では加振のしすぎによるコンクリートの分離が問題になるが、型枠振動機による場合は加振のしすぎによる悪影響はないと考えられる。

b) シュミットハンマーによる反撥度 打込み高さと同反撥度を図-8に示すが、上下で10程度の差がみられる。

c) 筒易透気速度 図-9に打込み高さと同透気速度の関係を示す。笠井²⁾らの結果に比べて1/2~1/10の値になったのは、本実験が材令2ヶ月程度で行なっているのに比べて笠井らは材令5年のコンクリートの結果であるため、コンクリートの含水状態の差異が表われたものと考えられる。最上部の透気速度が大きくばらついている。これは、測定箇所周辺の状態 (空隙など) が測定結果に影響を及ぼ

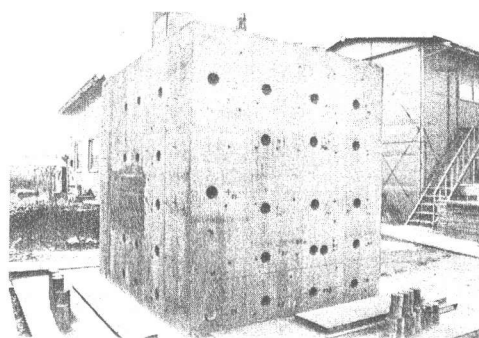


写真-5 コンクリートの品質測定位置

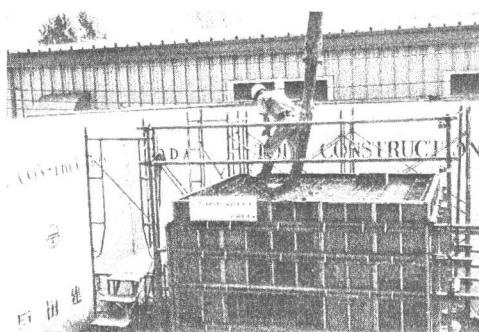


写真-6 コンクリートの打込み状況

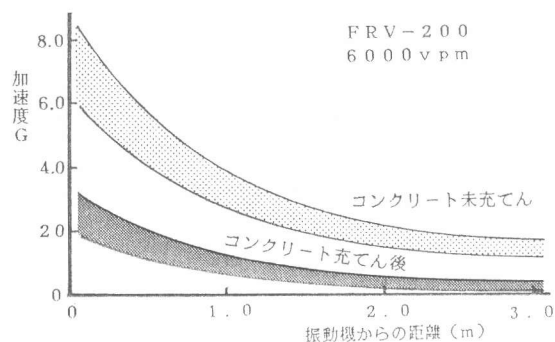


図-5 振動機の振動範囲

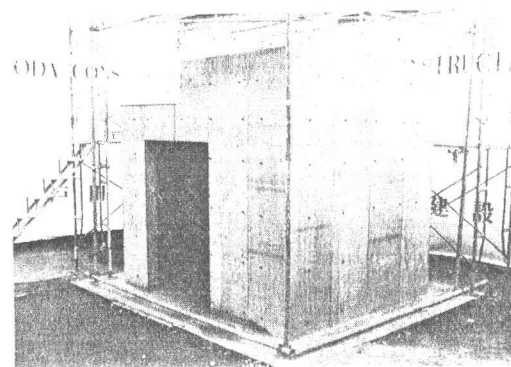


写真-7 型枠脱型後の状況

しているものと考えられ、図-10, 11を
みても、圧縮強度や表乾比重に比べて透
気速度の値の変動が大きいことがわかる。

d) 型枠の精度 型枠の精度につい
ては変形や位置の移動などについて問題
になることはなかった。

4. まとめ

以上、従来の内部振動機と突き、叩き
による締固めに変え、研究開発したコン
クリートの検知センサーと小型軽量型枠
振動機とが連動した制御装置によって、
自動締固め工法の性能と効果をモデル実
験で検討した。

その結果、①自動機械化による生産性の
向上、②振動効果による充てん性の確保
③自動操縦による労務対策などが図れる。
更に、これらの打込み締固めのシステム
工法により、コンクリート工事全体の自
動化および構造体コンクリートの品質改
善ができる目安が得られた。なお、本工
法のうち、検知センサーと型枠振動機は
昨年来、打込みが困難な部材、内部振動
機が挿入できない部材、打込み高さが高
い部材、打込みタイルの部材、先付け断
熱部材など20数件の現場で使用され、良
好な結果を得ている。今後、本格的な全
自動でコンクリートの打込み締固め工法
を進める予定である。

本研究開発は毛見虎雄所長の指導およ
び板谷俊郎氏と田中弘巳氏の協力による
ものである。簡易透気測定法について御
助言を頂いた日本大学笠井芳夫教授およ
び松井勇講師に対し、感謝の意を表しま
す。なお、振動機の共同開発は高野機械
製作所であること付記する。

参考文献

- 1) 毛見、平賀ほか：コンクリートの打込み、締固めの自動化への試み 日本建築学会大会（北陸）1983
- 2) 笠井、松井ほか：コンクリートの簡易透気性試験方法 第5回コンクリート工学年次講演論文集 1983
- 3) 平賀友見：鉄筋コンクリート部材の切断加工技術と建築現場への適用に関する研究 学位論文 1982

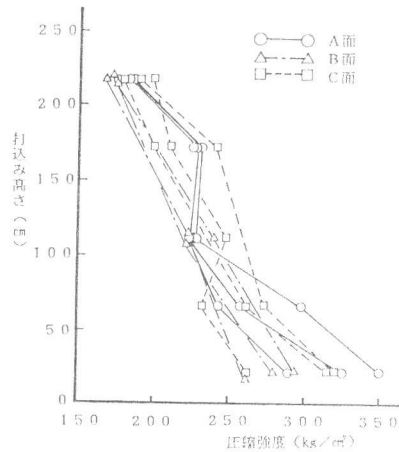


図-6 打込み高さと圧縮強度

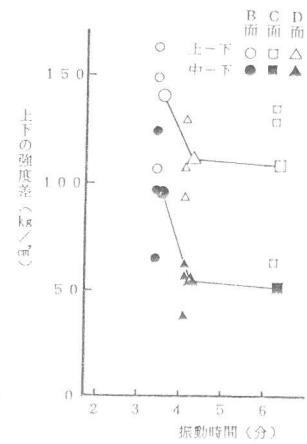


図-7 振動時間と強度差

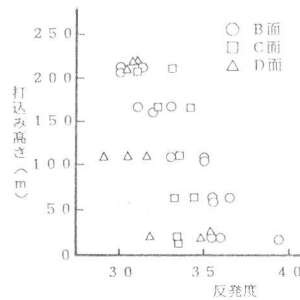


図-8 打込み高さと反発度

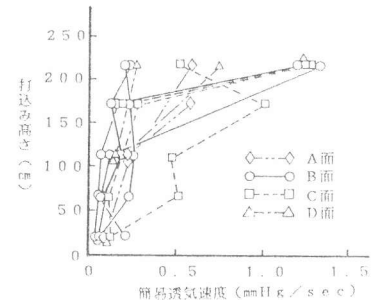


図-9 打込み高さと簡易透気速度

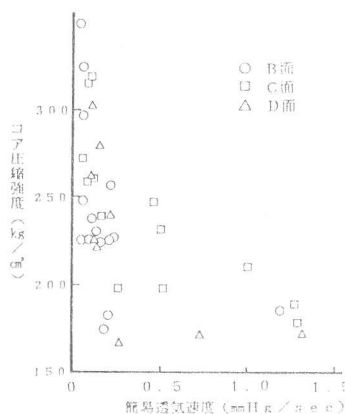


図-10 簡易透気速度と圧縮強度

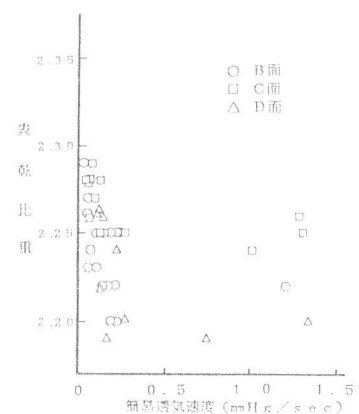


図-11 簡易透気速度と表乾比重