

[172] コンクリートの自動締固め工法に関する研究開発

正会員 平賀友晃 (戸田建設技術研究所)
 正会員 倉林清 (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 毛見虎雄 (戸田建設技術研究所)

1. まえがき

本研究は、構造体コンクリートの高品質化、技能工対策、コンクリート工事の省力化および作業環境の近代化のため、コンクリートの打込み締固め作業の機械化およびその制御システムの開発が目標である。前報では、実大モデル建物による現場への適用性について報告したが、ここでは、当社の技術研究所新築工事で実施した締固めシステムとコンクリートの品質について報告する。

2. 本工法の概要

本工法の締固め制御システムは、図-1に示すとおり、締固め装置とそれを集中管理する装置で構成されている。締固め装置は、コンクリート検知センサと型枠振動機およびこれらを連動する制御装置からなり、また、集中管理装置は、現場内の打込み締固め状況を現場事務所などにおいて制御および監視するシステム装置である。

集中管理装置は、プログラムコントローラを内蔵し、事前に締固めデータをインプットしておくことと自動的に現場内の締固め装置と無線信号で連動して締固め制御が行われ、表示盤には現在の打込み締固め位置が表示される。

3. 施工計画

3.1 建物概要

建物は、鉄筋コンクリート造の地上6階建て、建築延べ面積は約2000m²である。また基準階の階高は3.65mで、その平面図を図-2に示す。コンクリートの全打込み量は1162m³、型枠面積は約9500m²である。

使用型枠は合板(ア)12mm、セパレータ間隔は400~550mmである。コンクリートの打込み時期は、昭和59年6月から9月である。

3.2 施工方法

a) コンクリートの調査

コンクリートの調査は、コンクリートの種類による打込み締固めの影響を把握するために、AEコンクリート、流動化コンクリート、超遅延剤入りコンクリートの3種類とした。呼び強度は240kg/cm²で、コンクリートの調査を表-1に示す。

b) コンクリートの品質

まだ固まらないコンクリートについて、スランプ、空気量、温度の測定を行い、超遅延剤入りコンクリー

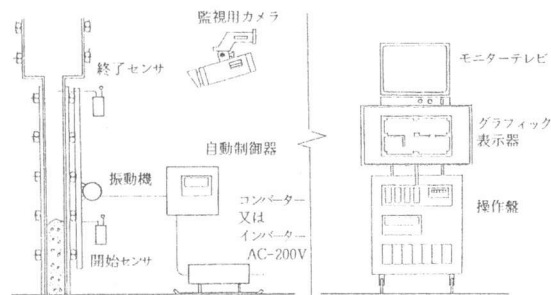


図-1 締固め制御システム

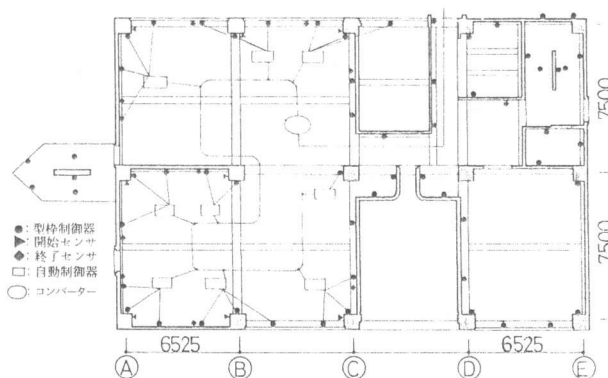


図-2 建物平面図及び機器配置図

表-1 コンクリートの調査

打込階 (F)	種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	W (g/m ³)	単位重量 (kg/m ³)			混和剤 (cc/m ³)
							C	S	G	
1・2	AEコンクリート	20	4	52	45	166	320	812	991	800
3・4	流動化コンクリート	12→18	4	55	46	164	299	832	984	748
5・6	超遅延剤入りコンクリート	18	4	55	45.2	180	327	792	960	2289

トは、プロクター貫入抵抗試験により凝結時間を測定した。

硬化したコンクリートについては、圧縮強度（標準養生，現場水中養生）と締固めによる充てん性を定量的に把握するために、シュミットハンマによる反発度および簡易試験による透気速度を測定した。また打込み状況はジャンカの個所数とコールドジョイントの長さで測定した。

c) 打込み方法

コンクリートの打込み機械は、全階をポンプで実施したが、コンクリートの水平運搬の1つの方法として、4階から6階の一部で分岐配管方式によるコンクリートの圧送性と分岐弁の検討を行った。さらに新しく開発した打込み用ロボット（本工事では作業の基本動作を検討するために操作は手動とした）により、打込み締固めの一連の作業をトータルシステムとして実験を試みた。

コンクリートの打込みは、片押しでコンクリートを梁下端部まで打込み、続いてスラブを打込む方法と始めから一度にスラブまで打込む方法（5階）との2種類とした。

d) 締固め方法

コンクリートの打込み計画と締固め機器の配置計画について、図-2に示す。これらの機器の取付け作業は、打込み前日に完了しておいた。締固めは、建物のA通りからC通りの柱までを自動締固め工法でC通り右側の壁からE通りまでを手動操作による締固め工法または叩き作業で実施した。超遅延剤入りコンクリートを打込んだ5階の一部で、再振動による締固め効果を検討するために、打込みの2時間後に10分間の加振を行った。この工事で使用した型枠振動機は、改良したARV型振動機で、従来の型枠振動機よりさらに小型軽量化し、初期起振力の能力が向上している。（型式 ARV-200，遠心力 200 kgf，重量 4.5 kg，振動数 6000 vpm）

4. 実施

4.1 まだ固まらないコンクリートの品質

表-2に各階ごとの打込み時のコンクリートの品質を示す。図-3は、超遅延剤入りコンクリートの凝結試験の結果で、いずれの場合も始発時間（500 psi）が、7.5時間前後（計画は8時間）に得られた。

4.2 コンクリートの打込み締固め

a) 打込み状況

写真-1，写真-2は、分岐配管方式と打込み用ロボット

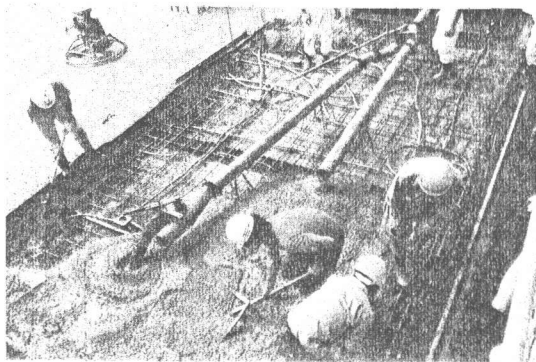


写真-1 分岐配管による打込み状況

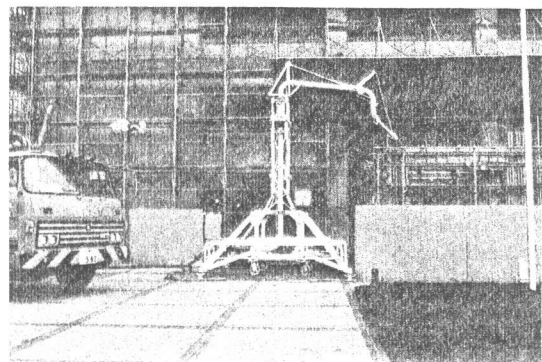


写真-2 打込み用ロボット

表-2 コンクリートの品質

階数 (F)	スラブ (cm)		温度 (°C)		空気量 (%)
	厚	幅	コンクリート	外気	
1	19.9	0.3	28.3	25.9	3.7
2	20.0	0.2	31.8	30.9	3.7
3	18.0	0.4	33.3	29.5	4.4
4	19.1	0.4	26.6	21.2	4.7
5	18.2	0.1	28.2	24.4	4.2
6	18.6	0.2	25.7	22.9	4.0

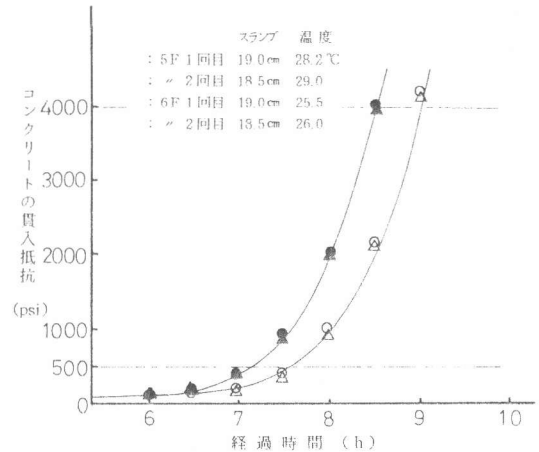


図-3 コンクリートの凝結時間

を用いてコンクリートの打込みを行っている状態で、いずれも圧送性、作業性には問題がなかった。分岐配管は閉塞もなく、作業員1人でコンクリートの流れの方向を切換えることができた。打込み用ロボットは、打込み階下から本体の首部分が伸縮、旋回が安易にでき、腕部分（最大10m）の伸び、曲げ動作がわずかな労力（作業員1人）で稼働できた。

b) 締固め状況

写真-3は、型枠にセットした締固め機器の取付け状況を示し、写真-4は、集中管理装置で現場内の打込み締固めおよび型枠の状況を監視している。

自動締固めは、打込み計画に従ってコンクリートが順次打込まれると型枠にセットした開始センサ、終了センサがコンクリートの位置を検知し、自動的に型枠振動機の操作を制御するので、締固め作業員を配置せず作業ができた。

加振時間は、壁部材（厚さ15cmと18cm）の場合で10m²当り振動機を1台、柱部材（断面75cm²、高さ3.5m）の場合で1本当り1台によって、それぞれ2～5分間で十分な締固め効果が得られた。さらに、加振によるフォームタイのネジのゆるみもなく、特に型枠のふくらみなどの変形がみられなかった。なお、手動操作では、振動機の盛替えに2人で3分程度時間を要した。

4.3 硬化したコンクリートの品質

a) シュミットハンマによる反発度

表-3にコンクリートの標準養生および現場水中養生の4週圧縮強度と標準偏差を示す。図-4、図-5は、壁、柱部材について、叩き作業による締固めと本工法による場合のシュミットハンマの反発度を示したものである。反発度は、いずれの部材でもコンクリートの種類に関係なく、本工法の方が叩き比べ平均10%程度高くなる。コンクリートの種類別に打込み高さ方向の反発度を比較してみると、AEコンクリートの部材上部と下部の反発度差が約5であるのに対し、超遅延剤入りコンクリートの場合10程度の反発度差がみられる。これは凝結時間が遅く、ブリージングが長く続くと考えられる。

図-6は、超遅延剤入りコンクリートを打込んだ部材に再振動

表-3 コンクリートの圧縮強度

階数 (F)	標準養生 (kg/cm ²)		現場水中養生 (kg/cm ²)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
1	273	12.7	282	14.5
2	249	12.8	258	2.9
3	317	20.1	331	15.6
4	345	8.9	338	9.5
5	347	16.6	340	3.2
6	338	8.2	325	13.7

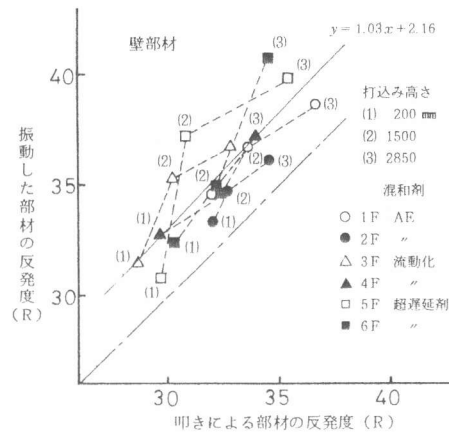


図-4 壁部材の反発度

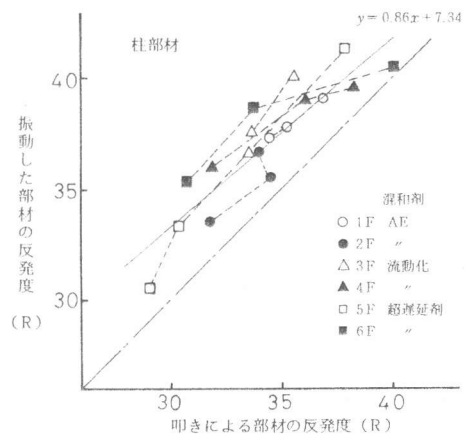


図-5 柱部材の反発度

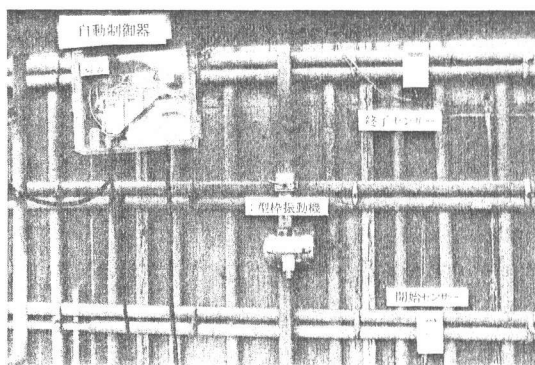


写真-3 締固め機器の取付け状況

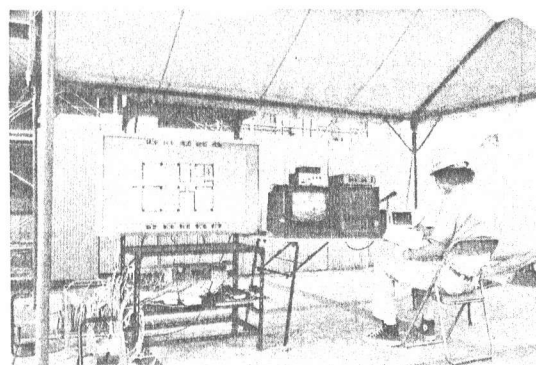


写真-4 集中管理装置

を加えたときの反発度である。一度締固めた部材を、さらに再振動を加えると全体的に反発度が大きくなり、再振動前より打込み高さ方向の反発度差が小さくなる。これは従来²⁾言われているように再振動の締固め効果である。

b) 簡易試験による透気速度

図-7は、シュミットハンマによる反発度と透気速度との関係を示したものである。透気速度は、反発度が35以上になると反発度が高くなっても余り変わらず、反発度が31以下になると急速に大きくなり、その差は顕著に表われる。今回の測定では、透気速度と反発度には、バラツキはあるものの一定の傾向が認められる。

c) コンクリートの表面調査

図-8は、壁、柱部材について型枠面積当りのジャンカ(30×30cm以上で補修を行ったもの)の数を調べたものである。当現場以外における突き、叩き作業では、型枠面積1000m²当りのジャンカの数最大で70.2個所で平均16.5個所ある。本工法では最大で31.2個所、平均で9.9個所である。

3階における打込みは、暑中コンクリートの対策をせず、流動化コンクリートの施工性を検討したが、コンクリートの温度が33~35℃と上昇し、流動化後のスランプが短時間で大きく低下し、ジャンカの数最大値を示した。この値を除くと本工法は、型枠面積当り平均で4.1個所となり、在来工法に比べて欠陥が1/4に減少し、十分な締固め効果が得られた。なお、コールドジョイントは、全階とも発生がみられなかった。

5. まとめ

以上、コンクリートの材料や調合、打込み条件などを変えて、各階とも検知センサおよび約50台の型枠振動機を用いて集中管理方式の自動締固めで施工したが、締固めの操作や制御装置システム上には問題がなかった。また、コンクリートの打上り状況は、従来の打込み欠陥が殆んどなく、充てん性のよい密実なコンクリートが得られた。今後とも本格的な自動締固め工法を普及させるため、多くの現場へ適用し、センサ、型枠振動機、締固め装置などの改善を重ねていく予定である。

[謝辞]

本工事に際して御協力を得た、ポソリス物産(株)、高野機械製作所および(株)新潟鉄工所の方々に謝意を表します。

引用文献

- 1) 平賀、倉林ほか；コンクリートの自動締固め工法に関する研究 第6回コンクリート工学年次講演論文集 1984
- 2) 平賀、荒巻ほか；コンクリート自動打込み締固め工法に関する研究、その1、その2 日本建築学会大会 1984
- 3) 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 1983
- 4) 平賀友晃；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、戸田建設技術開発センター報告 1983

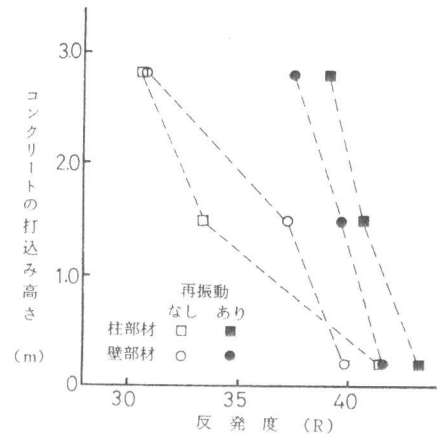


図-6 再振動による反発度

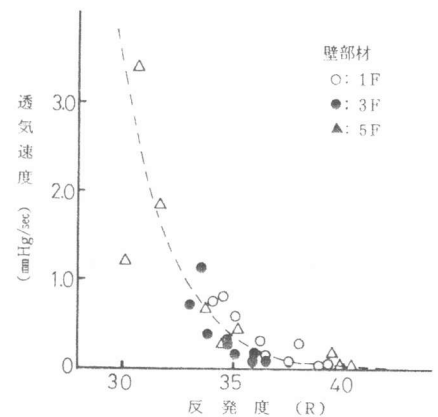


図-7 反発度と透気速度

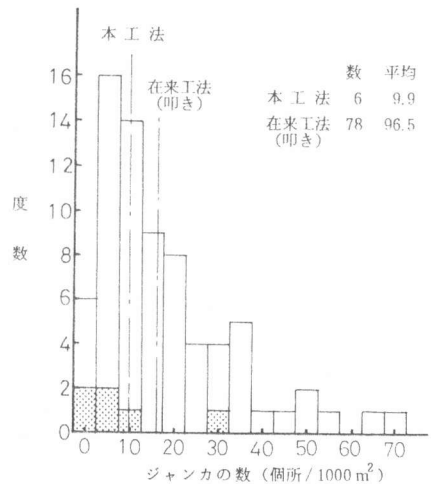


図-8 型枠面積当りのジャンカ数