コンクリートのスランプの相違が振動伝播特性に及ぼす影響

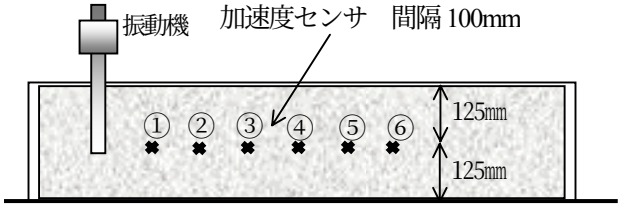
首都大学東京大学院　正会員　○梁　俊
首都大学東京　正会員　宇治　公隆　フェロー　国府　勝郎　正会員　上野　敦

１．はじめに

通常、現場でのフレッシュコンクリートの締固め方法としては内部振動機が採用されている。コンクリートの締固めは、所要の品質、耐久性を確保するために重要な作業である。内部振動機からの振動加速度の伝播特性はコンクリートの締固め範囲に大きく影響する。本研究では、模型供試体を用いて、コンクリートのスランプの相違およびスランプロスが締固め範囲に及ぼす影響、ならびにそれぞれの位置における振動応答挙動について、締固めエネルギーの観点から検討した。

２．試験装置および試験方法

図―1 に示す模型供試体を用いて、内部振動機からの距離における振動応答挙動を把握した。鋼製型枠の内面に、反射波の影響を避けるための発泡スチロール板（厚さ 150mm）を配置した。対象となるコンクリート供試体の寸法は L1000mm×B300mm×H250mm である。内部振動機は直径 30mm、出力 28W、振動数 12000r.p.m である。加速度センサを図―１のように 125mm の高さに 100mm 間隔で 6 点設置し、高さ 250mm となる量のコンクリートを投入した後、内部振動機を鉛直に 125mm の深さまで挿入して既往の研究を参考にして、4 秒間締固めを行った。加速度は加速度センサにより 0.005 秒間隔で測定した。また別途、同一条件で供試体を作製し、振動機から 0、10、20、30、40、50、60cm の位置からコアを採取して、圧縮強度を測定した。また、振動台式試験装置を用いてコンクリートの単位容積質量の締固め完了エネルギーを求めた。



図―１　加速度センサ設置位置

３．使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材には津久井産砕砂（表乾密度 2.65g/cm^3、F.M.=2.87）と富津産山砂（表乾密度 2.61g/cm^3、F.M.=1.64）の混合砂を、また粗骨材には津久井産の砕石（表乾密度 2.66g/cm^3、F.M.=6.36）を使用した。混和剤には AE 減水剤（リグニンスルホン酸系,使用量 C×0.25%）を使用した。本研究では、まず試し練りによりスランプ 8cm となる配合（基本配合）を決定した。配合を表―１に示す。次に単位水量を調整し、スランプ 16、12、5cm となる配合を求めた。それぞれの単位水量は 175、170、158kg/m^3 である。なお、スランプ 8cm と 5cm については、スランプロスの影響を検討するため、スランプロスした 5cm（8→5cm）あるいは 2cm（5→2cm）のコンクリートも検討対象とした。

表―１　基本配合（スランプ 8cm）

W/C	s/a	単位量(kg/m^3)					
(%)	(%)	W	C	S_1	S_2	G	Ad
50	42	165	350	70	680	1025	0.865

４．実験結果及び考察

式（1）により変形率(γ)を、式（2）により締固めエネルギー(E)を計算した。

$$\gamma = H_0/h \times 100\ \% \qquad (1)$$
$$H_0 = m/(\rho/A)$$

γ：変形率(%)、m：コンクリートの質量(kg)、ρ：コンクリートの単位容積質量(kg/L)、A：円筒容器の底面積（452.16cm^2）、h：任意振動時におけるコンクリートの高さ(cm)、H_0：単位容積質量まで締固めた時の試料の高さ(cm)

$$E = \rho\, \alpha_{max}^2 t_0 / 4\pi^2 f \qquad (2)$$

E ：締固めエネルギー(J/L)、t_0：締固め時間(s)、α_{max}：最大加速度(m/s^2)、ρ：単位容積質量(kg/L)　f：振動数(Hz)

キーワード：締固め性、締固め完了エネルギー、振動加速度、締固め範囲、圧縮強度
連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢１－１　首都大学東京大学院工学研究科　TEL：0426-77-1111

表－2　振動締固め 4 秒における締固めエネルギー、締固め完了エネルギーおよび締固めの可能範囲

	振動伝播による締固めエネルギー								締固め完了エネルギー				締固め範囲
スランプ	10cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	ρ	Hz	α	E99.5	(cm)
SL16	82.37	16.01	9.26	10.03	1.76	0.29	0.56	0.00	2.28	35	1.02	0.31	59.9
SL12	384.70	57.76	24.69	5.32	0.59	0.00	0.00	0.00	2.30	29	1.02	0.71	49.8
SL8	80.76	9.19	5.18	2.29	1.18	0.00	0.00	0.00	2.31	33	1.37	1.85	44.0
SL8-5.5	124.37	10.67	4.26	2.55	0.27	0.00	0.00	0.00	2.31	35	1.32	2.75	38.8
SL5	45.86	29.29	5.67	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32	41	1.68	2.93	36.3
SL5－2	102.41	23.90	4.48	3.30	0.60	0.00	0.00	0.00	2.32	35	1.34	4.69	29.9

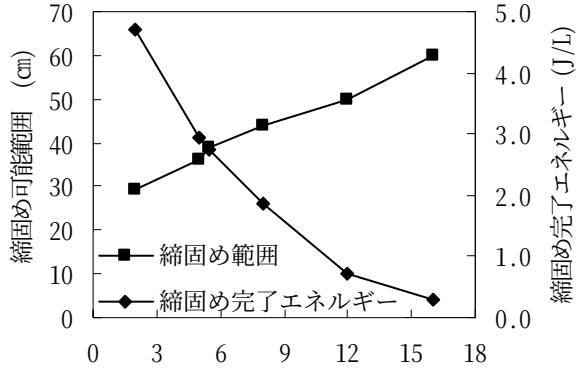
振動台式試験から得られる締固め曲線は式(3) によって表すことができる。本研究では、締固め曲線において変形率が 99.5%に達するエネルギーを締固め完了エネルギーとし、締固め完了エネルギー（E99.5）を求めた。

$$\gamma_E = Ci + (Cf - Ci)[1 - \exp(-bE^d)] \qquad (3)$$

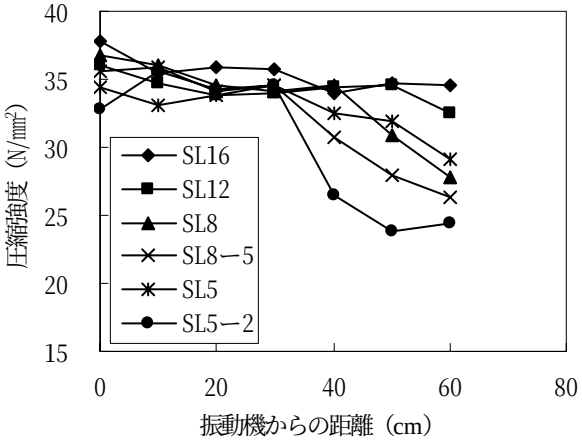
ここに，γ_E：締固めエネルギーEにおける試料の変形率(%)，E：単位容積の試料に与えられる締固めエネルギー(J/L)，Ci：初期変形率であり，締固め開始時の変形率(%)，Cf：達成可能変形率であり，締固め終了時の変形率（%），bおよびd：実験定数

測定した加速度の変動を考慮し、0.5～1.0 秒および 1.0～1.5 秒の間の最大加速度の平均値を 1 秒における最大加速度とした。同様に、各センサの 2 秒から 4 秒までの最大加速度を求めた。式－2によって、各位置における 1 秒～4 秒の締固めエネルギーを求め、その位置での 1 秒～4 秒の締固めエネルギーの合計をその位置の 4 秒間の締固めエネルギーとした。そして、式－3によって求めた締固め完了エネルギー（E99.5）をもとに締固め可能範囲を求めた。表－2に振動締固め 4 秒における締固めエネルギー、締固め完了エネルギーおよび締固め可能範囲を示す。表から分かるように SL16、SL12、SL8、SL8-5、SL5、SL5-2 のコンクリートの締固め可能範囲は、振動機からそれぞれ 60、50、44、39、36、30cm である。

図－2に、スランプと締固め可能範囲およびスランプと締固め完了エネルギーの関係を示す。図から分かるように、スランプの低下によって締固め完了エネルギーは増加し、締固め可能範囲は小さくなる。図－3に振動機からの距離と供試体から採取したコアの圧縮強度の関係を示す。SL12、SL8、SL8-5、SL5、SL5-2 のコンクリートの締固め可能範囲は振動



図－2　スランプと締固め範囲および締固め完了エネルギー



図－3　振動機からの距離とコア圧縮強度

機からそれぞれ 50、40、30、30、30cm とみなせる。なお、SL16 の場合は、60cm の位置でも圧縮強度は低下していない。圧縮強度から判断される締固め可能範囲は、表－2に示した締固め加速度を用いて理論的に求めた締固め可能範囲とほぼ一致している。

6．まとめ

本研究において、締固めエネルギーによりスランプを有するコンクリートの締固め可能範囲に関して検討した。スランプの低下により締固め可能範囲は小さくなること、締固め完了エネルギーから推測される締固め可能範囲と採取コアから確認された締固め可能範囲はほぼ一致することが明らかとなった。